

Bepaling van de landbouwkundige rentabiliteit van water-
conservering en wateraanvoer in het waterschap Noord-Limburg

32/uub(105) 2^e ex

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**

**Bepaling van de landbouwkundige rentabiliteit van water-
conservering en wateraanvoer in het waterschap Noord-Limburg**

P. van der Voet
D. Slothouwer
P.J.T. van Bakel
J. Vreke

Rapport 105

STARING CENTRUM, Wageningen, 1991



0000 0442 7353

28 MEI 1991

Ubn 538009 *

REFERAAT

Voet, P. van der, D. Slothouwer, P.J.T. van Bakel, J. Vreke, 1990. Bepaling van de landbouwkundige rentabiliteit van waterconservering en wateraanvoer in het waterschap Noord-Limburg. Wageningen, Staring Centrum. Rapport 105. 148 blz.; 16 fig.; 26 tab.; 8 aanh.; 28 kaarten.

In opdracht van het Provinciaal Bestuur van Limburg is een studie uitgevoerd om voor het waterschap Noord-Limburg de effecten van waterconservering en aanvoer van Maaswater voor de landbouw vast te stellen. Daartoe is het studiegebied opgedeeld in deelgebieden die zich onderscheiden naar inlaatpunt van het aanvoerstelsel. Voor elke combinatie van bodemfysische eigenschappen en hydrologische situatie is waterhuishouding gesimuleerd zonder peilbeheer, bij conservering, bij wateraanvoer voor subinfiltratie en bij wateraanvoer voor beregening. Daarbij is het GIS-systeem ARC/INFO gebruikt. Waterconservering op waterschapsniveau is voor vrijwel elk deelgebied rendabel; wateraanvoer voor subinfiltratie is alleen rendabel voor reeds ingerichte deelgebieden. Uitbreiding van de doorvoercapaciteit van de Peelkanalen en vergroting van de inlaatcapaciteit bij Katsberg in combinatie met de inlaatcapaciteit op de Noordervaart, zijn te overwegen.

Trefwoorden: wateraanvoer, subinfiltratie, beregening, Peelkanalen, Maaswater, GIS-systeem.

ISSN 0924-3070

©1990

STARING CENTRUM Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied Postbus 125,
6700 AC Wageningen
Tel.: 08370-147200; telefax: 08370-24812; telex: 75230 VISI-NL

Het Staring Centrum is een voortzetting van: het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), het Instituut voor Onderzoek van Bestrijdingsmiddelen, afd. Milieu (IOB), de Afd. Landschapsbouw "De Dorschkamp" (LB), en de Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA).

Het Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Niets uit deze uitgave mag worden veeleenvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm en op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het Staring Centrum.

Project 6158

[disk/105]

INHOUD

	Blz
WOORD VOORAF	13
SAMENVATTING	15
1 INLEIDING	21
2 WATERHUISHOUDKUNDIG SYSTEEM	23
2.1 Gebied	23
2.2 Landbouwkundige situatie	23
2.3 Waterhuishouding	23
3 ONDERZOEKSMETHODE	25
3.1 Probleemschets	25
3.2 Methoden voor bepaling van landbouwkundige effecten van wateraanvoer	26
3.3 Gebruikte simulatiemethode	27
3.4 Gemodelleerde processen in SWW	28
3.4.1 Gewas/atmosfeersysteem	28
3.4.2 Onverzadigde zone	29
3.4.3 Verzadigde zone	30
3.4.4 Oppervlaktewatersysteem	32
3.4.5 Indirecte gevolgen van wateroverlast	33
3.5 Toepassing van SWW in het studiegebied	34
3.6 Gehanteerde beheersregels	34
3.7 Beperkingen van de gekozen aanpak	35
4 HYDROLOGISCHE SCHEMATISERING	37
4.1 Kansrijke gebieden	37
4.1.1 Wateraanvoer	37
4.1.2 Waterconservering	38
4.2 Bodemgebruik	38
4.3 Bodemfysische gegevens	39
4.3.1 Selectieprocedure Noord-Brabant	39
4.3.2 Procedure Noord-Limburg	40
4.3.3 Resultaten	43
4.4 Kwel en wegzijging	45
4.5 De interactie tussen grond- en oppervlaktewater	47
4.6 Waterlopen en kunstwerken	49
4.7 Hoogte van het maaiveld	50
4.8 Geografische gegevens	50
4.9 Simulatie-eenheden	51
4.10 Meteorologische gegevens	52
4.11 Oppervlaktewaterbeheer en berekening	53
5 BEPALING VAN KOSTEN EN BATEN	57
5.1 Uitgangspunten	57
5.2 Kosten	59
5.2.1 Waterschapsniveau	59
5.2.2 Primaire stelsel	60
5.2.2.1 Wateraanvoer exclusief de Peelkanalen in 2000	61
5.2.2.2 Wateraanvoer via de Peelkanalen	63

5.3	Baten	65
5.3.1	Scenario's voor de vaststelling van de baten van wateraanvoer	65
5.3.2	Baten van wateraanvoer in het jaar 2000	67
5.3.3	Baten van berekening	69
6	RESULTATEN VAN HYDROLOGISCHE BEREKENINGEN	71
6.1	Gewasverdamping	71
6.2	Grondwaterstanden	73
6.3	Aanvoerbehoeften	76
7	RENTABILITEIT VAN WATERAANVOER IN NOORD-LIMBURG	77
7.1	Waterschapsniveau	77
7.2	Roven-regionaal niveau	79
7.2.1	Uitgangspunten en randvoorwaarden	80
7.2.2	Waterverdeling exclusief Maaswater voor de landbouw	82
7.2.3	Waterverdeling in de autonome situatie voor de landbouw	83
7.3	Evaluatie van maatregelen	84
7.4	Evaluatie van scenario's	89
7.5	Effecten van een beperkte beschikbaarheid van Maaswater	93
8	GEVOELIGHEIDSANALYSE EN EVALUATIE VAN DE RESULTATEN	95
8.1	Gevoeligheidsanalyse	95
8.1.1	Peilbeheer	95
8.1.2	Bepaling invloedszones peilbeheer	97
8.1.3	Drainageweerstand	102
8.1.4	Gt-toedeling	104
8.1.5	Kwel/wegzijging	105
8.1.6	Interne levering	106
8.2	Toetsing aan veldwaarnemingen en andere modelberekeningen	106
8.2.1	Veldwaarnemingen van de wateraanvoer	106
8.2.2	Modelberekeningen Everlose Beek	107
8.2.3	Drainageweerstand per deelgebied	107
8.3	Evaluatie	108
9	CONCLUSIES	111
9.1	Hydrologische berekeningen	111
9.2	Interne rentabiliteit	112
9.3	Rentabiliteit op boven-regionaal niveau	112
9.4	Geldigheid van de resultaten	113
	LITERATUUR	117
	AANHANGSELS	
1	Leden Werkgroep "Wateraanvoer"	121
2	De begrippen Gt, GHG en GLG	123
3	Tabel van drukhoogte en doorlatendheid voor ondergrond-nummer 16 uit de bodemfysische reeks van Brabant	125
4	Voorbeeld van de berekende effecten van diverse beheertypen op de slootwaterstand, het vochtgehalte van de wortelzone, de grondwaterstand, de actuele gewasverdamping en de cumulatieve gewasverdampings-reductie bij grasland op bodemeenheid Hn21 in 1977	127

5	Gesimuleerde wateraanvoerbehoefte per deelgebied, uitgesplitst naar grondgebruik in de maatgevende week in 1983 en 1976	131
6	Kosten en baten op deelgebiedsniveau bij diverse beheertypen, uitgesplitst naar grondgebruik	133
7	Waterbehoefte en interne baten van wateraanvoer voor subinfiltratie en/of beregening per deelgebied in Noord-Limburg en midden en oostelijk Noord-Brabant	139
8	Berekende interne drainage/subinfiltratie en externe aanvoer per simulatie-eenheid per week voor de deelgebieden Everlose beek en Lollebeek in 1976	143

FIGUREN

1	Schematische voorstelling van de verschillende grondwaterstromingen	31
2	Relatie tussen slootafvoer en grondwaterstand, per grondwatertrap	45
3	Relatie tussen kwelintensiteit en grondwaterstand voor grondwatertrap III* afgeleid uit berekeningen met TRIWACO en aanduiding van de spreiding in grondwaterstand	46
4	De relatie tussen grondwaterstand en afvoer zoals geschematiseerd voor berekeningen met SWW	48
5	Relatie tussen grondwaterstand en afvoer naar ontwateringsmiddelen, per grondwatertrap, afgeleid uit een iteratieve procedure	48
6	Frequentieverdelingen van de maximale toename van het cumulatief neerslagtekort gedurende het groeiseizoen, de jaarlijkse beregeningshoeveelheid, berekend met DEMGEN voor grasland op een podzolprofiel en de berekende procentuele droogteschade zonder beregening voor dezelfde situatie, voor de periode 1930-1986	53
7	Aanduiding van locaties waar door aanpassing in de infrastructuur de aanvoercapaciteit van de Peelkanalen wordt vergroot	63
8	Het langjarig grondwaterstandsverloop bij waterbeheersmaatregelen in vergelijking met vrije drainage voor simulatie-eenheid 1306	74
9	Schets van de doorvoer- en aanvoermogelijkheden van Maaswater voor de landbouw in de autonome situatie	83
10	De toename van de interne baten van subinfiltratie plus beregening en kosten in het primaire stelsel, ten opzichte van de doorvoercapaciteit van de ZWV $5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en zonder dat eenemaal bij Oosterhout is geïnstalleerd, bij uitbreiding van de doorvoercapaciteit van de ZWV bij afwezigheid resp. aanwezigheid van eenemaal bij Oosterhout met een capaciteit van $1,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	89
11	Schets van de aanvoer van Maaswater voor subinfiltratie bij uitbreiding van de aanvoermogelijkheden t.o.v. de autonome situatie	90
12	Schets van de aanvoer van Maaswater voor subinfiltratie plus beregening bij uitbreiding van de aanvoermogelijkheden t.o.v. de autonome situatie	91

13 Oogstpercentage voor gras en maïs bij bodemeenheid Hn23 voor diverse maaiveldshoogtes voor drie typen peilbeheer	99
14 Oogstpercentage voor gras en maïs bij bodemeenheid Hn21 voor diverse maaiveldshoogtes voor drie typen peilbeheer	99
15 Conserveringseffect en subinfiltratie-effect voor gras en voor maïs voor bodemeenheid Hn21 of Hn23 met een grondwatertrap VI bij diverse maaiveldshoogtes	100
16 Hydrologische situaties die zich kunnen voordoen bij een zomerpeil van 90 cm - mv. bij diverse slootdiepten	102

TABELLEN

1 Selectie uit de keuzetabel voor de toekenning van bodemeenheden in het Limburgse onderzoek aan de per bodemeenheid toegekende simulatie-eenheden in Brabant	41
2 Overzicht van alle bodemfysische eenheden in het onderzoeksgebied met per eenheid de totale oppervlakte in het onderzoeksgebied, de meest voorkomende kaart-eenheid en de bodemfysische profielopbouw	44
3 Relatie tussen grondwaterstand en kwelintensiteit per grondwatertrap, voor drie data, afgeleid uit berekeningen met TRIWACO voor de Centrale Slenk	46
4 Uit calibratie op GLG- en GHG-waarden verkregen parameters van de interactie tussen grond- en oppervlaktewater per grondwatertrap	48
5 Aangebrachte koppeling tussen streefpeil (ingedeeld in fasen) en grondwaterstand in het model SWW, indien het verschil tussen zomer- en winterpeil 50 cm bedraagt	54
6 Aangebrachte koppeling tussen streefpeil en vochtvoorraad in de wortelzone bij een maximaal verschil tussen zomer- en winterpeil van 50 cm	55
7 Overzicht van de vaste en variabele kosten in guldens van 1985 per jaar bij verschillende wateraanvoersituaties op waterschapsniveau	60
8 Vaste en variabele kosten per jaar (in guldens van 1985)	62
9 Vaste en variabele kosten per jaar (in guldens van 1985) voor de Peelkanalen	64
10 Indexcijfers van de produktie per ha, prijs, (geldelijke) opbrengsten per ha en de oppervlakte cultuurgrond (zuidelijk zand) in het jaar 2000	68
11 Gesimuleerde oogstpercentages en -effecten per bodemfysisch-hydrologische eenheid voor grasland bij vrije drainage, conservering, conservering en wateraanvoer voor subinfiltratie, en conservering en wateraanvoer voor subinfiltratie en berekening	72
12 Overzicht van de totale en voor de landbouw in 2000 aanwezige inlaat- en doorvoercapaciteit van de Zuid-Willemsvaart en het Wilhelminakanaal en de jaarlijkse kosten van vergroting van deze capaciteit	82

13	Totale interne baten en kosten van het primaire stelsel in de autonome situatie en bij uitbreiding van de doorvoercapaciteit van de Peelkanalen	85
14	Totale interne baten en kosten van het primaire stelsel wanneer alleen de doorvoercapaciteit van de Peelkanalen is uitgebreid en wanneer tevens de inlaatcapaciteit bij Katsberg en op de Noordervaart is uitgebreid	85
15	Totale interne baten en kosten van het primaire stelsel wanneer Peelkanalen, Katsberg en Noordervaart zijn uitgebreid en wanneer tevens bij Oosterhout een gemaal wordt geïnstalleerd	86
16	Totale interne baten en kosten van het primaire stelsel wanneer Peelkanalen, Katsberg en Noordervaart zijn uitgebreid en wanneer tevens de doorvoercapaciteit van de ZWV wordt vergroot met 1,0 (subinfiltratie) resp. $2,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	87
17	Toename van de jaarlijkse interne baten en de kosten in het primaire aanvoersysteem (incl. Peelkanalen) van uitbreiding van de wateraanvoer voor drie kansrijke scenario's	91
18	Berekende behoeftes van Maaswater voor subinfiltratie, van de verschillende waterschappen in de maatgevende situatie voor scenario's, met aanduiding van het hoofdinlaatpunt, waarlangs het Maaswater wordt aangevoerd	92
19	Berekende aanvoerbehoeftes van Maaswater voor subinfiltratie plus berekening van de verschillende waterschappen in de maatgevende situatie voor het scenario	92
20	Invloed van verschillen in peilbeheer op het effect van subinfiltratie, voor twee bodemfysische eenheden	96
21	Gesimuleerde drainageweerstand van het totale stelsel met bijbehorende componenten van het secundaire en tertiaire stelsel	103
22	Oogstfracties bij conservering en sub-infiltratie, alsmede het subinfiltratie-effect bij Hn21 en Hn23 voor diverse waarden van de drainageweerstand	103
23	Naar oppervlakte gewogen gemiddeld conserveringseffect, resp. subinfiltratie-effect per Gt voor deelgebied Everlose Beek en voor deelgebied Lollebeek	104
24	Oogstfracties en conserverings-, resp. subinfiltratie-effecten voor gras en maïs voor twee simulatie-eenheden (Hn21, resp. Hn23 op Gt VI) met en zonder het opleggen van een wegzijgingsterm	105
25	Ingelaten hoeveelheden water in de periode rond begin augustus in vergelijking tot de gesimuleerde wateraanvoer voor subinfiltratie in 1983 en 1976	106
26	Drainagekarakteristieken per deelgebied, afgeleid uit grondwatertrappen en slootafstanden van het beheersbare stelsel	108

KAARTEN

- 1 Schets van de aanvoersituatie van Maaswater m.b.t. Noord-Limburg en midden en oostelijk Noord-Brabant
- 2 Ligging en afwateringssysteem van waterschap Noord-Limburg
- 3 Globale geohydrologische indeling van Noord-Limburg en oostelijk Noord-Brabant
- 4 De anno 1984 gedefinieerde situatie m.b.t. aanvoer- en doorvoercapaciteit op de Noordbrabantse en Limburgse kanalen
- 5 Beregenings- en bevoelingsmogelijkheden in 1985 per gemeente, als percentage van de oppervlakte cultuurgrond
- 6 Percentage beregening uit grondwater in 1985 per gemeente
- 7 Bestaande en potentiële subinfiltratiezones in het waterschap Noord-Limburg
- 8 Situering van voor wateraanvoer in aanmerking komende deelgebieden, geclassificeerd naar bestaand en uitbreiding
- 9 Bladindeling van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000
- 10 Zones waarbinnen het in principe mogelijk is om te beregenen uit oppervlaktewater
- 11 De bij grasland door conservering veroorzaakte langjarig gemiddelde verhoging van de gesimuleerde grondwaterstand in week 15
- 12 De bij maïs door conservering veroorzaakte langjarig gemiddelde verhoging van de gesimuleerde grondwaterstand in week 15
- 13 De bij grasland door conservering veroorzaakte verhoging van de gesimuleerde grondwaterstand in 1976 in week 15
- 14 De bij maïs door conservering veroorzaakte verhoging van de gesimuleerde grondwaterstand in 1976 in week 15
- 15 De bij grasland door wateraanvoer voor subinfiltratie veroorzaakte langjarig gemiddelde verhoging van de gesimuleerde grondwaterstand in week 30
- 16 De bij maïs door wateraanvoer voor subinfiltratie veroorzaakte verhoging van de gesimuleerde grondwaterstand in 1983 in week 30
- 17 De bij grasland door wateraanvoer voor subinfiltratie veroorzaakte verhoging van de gesimuleerde grondwaterstand in 1983 in week 30
- 18 De bij maïs door wateraanvoer voor subinfiltratie veroorzaakte langjarig gemiddelde verhoging van de gesimuleerde grondwaterstand in week 30
- 19 De bij grasland door wateraanvoer voor subinfiltratie veroorzaakte verhoging van de gesimuleerde grondwaterstand in 1983 in week 34
- 20 De bij maïs door wateraanvoer voor subinfiltratie veroorzaakte langjarig gemiddelde verhoging van de gesimuleerde grondwaterstand in 1983 in week 34
- 21 De bij grasland door wateraanvoer voor subinfiltratie veroorzaakte verhoging van de gesimuleerde grondwaterstand in 1976 in week 30
- 22 De bij maïs door wateraanvoer voor subinfiltratie veroorzaakte langjarig gemiddelde verhoging van de gesimuleerde grondwaterstand in 1976 in week 30
- 23 Schema van het primair en secundair wateraanvoerstelsel voor midden en oost Noord-Brabant en Midden-Limburg

- 24 Gesimuleerde verdeling van Maaswater voor de scheepvaart en wegzijging, lozingen en onttrekkingen (excl. landbouw) in een 10% droog jaar:
- Peelkanalen niet uitgebreid;
 - max. capaciteit Zuid-Willemsvaart $5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;
 - max. capaciteit Noordervaart $4,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en $3,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ bij Katsberg;
 - niet oppompen bij Oosterhout
- 25 Gesimuleerde verdeling van Maaswater voor subinfiltratie in een 10% droog jaar:
- Peelkanalen niet uitgebreid;
 - max. capaciteit Zuid-Willemsvaart $5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;
 - max. capaciteit Noordervaart $4,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en $3,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; bij Katsberg;
 - niet oppompen bij Oosterhout
- 26 Gesimuleerde verdeling van Maaswater voor subinfiltratie en beregening in een 10% droog jaar:
- Peelkanalen niet uitgebreid;
 - max. capaciteit Zuid-Willemsvaart $5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;
 - max. capaciteit Noordervaart $4,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en $3,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ bij Katsberg;
 - niet oppompen bij Oosterhout
- 27 Gesimuleerde verdeling van Maaswater voor subinfiltratie in een 10% droog jaar:
- Peelkanalen uitgebreid;
 - max. capaciteit Zuid-Willemsvaart $5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;
 - max. capaciteit Noordervaart $4,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en $3,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ bij Katsberg;
 - oppompen bij Oosterhout
- 28 Gesimuleerde verdeling van Maaswater voor subinfiltratie en beregening in een 10% droog jaar:
- Peelkanalen uitgebreid;
 - max. capaciteit Zuid-Willemsvaart $6,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;
 - max. capaciteit Noordervaart $5,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en $4,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ bij Katsberg;
 - oppompen bij Oosterhout

WOORD VOORAF

Dit eindverslag van werk om de landbouwkundige effecten van waterconservering en -aanvoer voor het waterschap Noord-Limburg te bepalen heeft het Staring Centrum in opdracht van Gedeputeerde Staten van Limburg uitgevoerd. Hierbij is voortgebouwd op een soortgelijke studie die in opdracht van Gedeputeerde Staten van Noord-Brabant is uitgevoerd.

De dataverwerking met ARC/INFO en de hydrologische berekeningen heeft Paul van der Voet uitgevoerd, de verzameling en bewerking van economische gegevens Dick Slothouwer, terwijl Jan Vreke de verdeling van Maaswater berekend heeft.

De Werkgroep "WATERAANVOER NOORD-LIMBURG" begeleidde het onderzoek. De discussies in deze groep waren bijzonder opbouwend.

Een speciaal woord van dank geldt het waterschap Noord-Limburg voor het ter beschikking stellen van hun gegevens.

De projectleider,

Jan van Bakel

SAMENVATTING

Voor de Wet op de Waterhuishouding moeten de Provinciale Staten van Limburg een provinciaal Waterhuishoudingsplan vaststellen waarin de plannen voor wateraanvoer moeten worden aangegeven. Met name voor het waterschap Noord-Limburg is relevant of (uitbreiding van) wateraanvoer voor de landbouw rendabel is en zo ja, naar welke gebieden en met welke capaciteit. Daarom werd aan het Staring Centrum (voorheen ICW) in mei 1989 opdracht gegeven hiernaar een studie uit te voeren, waarbij tevens de rentabiliteit van waterconservering bepaald diende te worden.

In overleg met de begeleidingsgroep "Wateraanvoer Noord-Limburg" zijn de volgende uitgangspunten geformuleerd:

- alleen (uitbreiding van) aanvoer van Maaswater via de Zuid-Willemsvaart door de Noordervaart naar de Peelkanalen is onderwerp van studie;
- kosten en baten worden bepaald uitgaande van een "maatschappelijk-economische" benadering, waardoor subsidies en belastingen buiten beschouwing blijven;
- als uitgangssituatie voor de berekening van de effecten van wateraanvoer wordt een optimale conservering van water verondersteld binnen de technische mogelijkheden van de daarvoor geschikte kunstwerken;
- als uitgangsjaar voor de plansituatie wordt het jaar 2000 genomen.

Het onderzochte waterhuishoudkundig systeem is beschreven naar gebiedsbegrenzing, de landbouwkundige situatie, de waterhuishoudkundige situatie en een kenschets van de mogelijkheden tot peilbeheer. Het studiegebied beperkt zich tot de (overwegend zand)gebieden in het waterschap Noord-Limburg die voor hun watervoorziening afhankelijk zijn van aanvoer van Maaswater via Lozen (België). Het grondgebruik bestaat uit grasland, ca. 43%, mais ca. 21%, akkerbouw ca. 18%, terwijl vollegrondstuinbouw en fruitteelt ca. 16% van het oppervlak innemen. Op ca. 50% van de oppervlakte kan worden beregend uit voornamelijk grondwater. In ca. 50% van het studiegebied is nu reeds wateraanvoer voor subinfiltratie of beregening uit oppervlaktewater gerealiseerd.

Om de hydrologische effecten van wateraanvoer te berekenen is het gebied in deelgebieden opgedeeld die zich onderscheiden naar inlaatpunt van het primaire aanvoerstelsel (de Noordervaart en de Peelkanalen). Per deelgebied is de waterhuishouding gesimuleerd door het één-dimensionale, niet-stationaire model SWW toe te passen. Daartoe moet het studiegebied worden opgedeeld in op zichzelf staande unieke combinaties van bodemfysische eenheden (afgeleid van de bodemkaarten 1 : 50 000) en hydrologische situaties.

Voor de toepassing van SWW moeten veel gegevens worden verzameld en bewerkt. Allereerst zijn kansrijke gebieden geselecteerd voor wateraanvoer, waarbij niet-landbouwgebieden zijn uitgesloten. Verder is geselecteerd op landbouwgebieden, waarvoor de investering in de waterschapsinfrastructuur hoger dan f 1000,- per ha bedraagt (incl. BTW). Hogere investeringen zijn zeker niet rendabel.

Als belangrijke bronnen van informatie hebben gediend de bodem- en grondwatertrappen(Gt-)kaarten 1 : 50 000. Het gebied is in bodemfysische eenheden ingedeeld door alle kaarteenheden te vertalen naar (27) bodemfysische eenheden: hydrologische situaties voor de relatie tussen grond- en oppervlaktewater, en kwel of wegzijging zijn gekoppeld aan de grondwatertrap.

Met het GIS-systeem ARC/INFO zijn de unieke combinaties van bodemfysische eigenschappen en hydrologische situaties vastgesteld. Met het gesimuleerde bodemgebruik leverde dit 165 simulatie-eenheden (gras, een in hydrologische effecten ook voor akkerbouwgewassen representatief maïsgewas, en een fictief gemiddeld vollegrondstuinbouwgewas). Voor de simulatieberekeningen zijn randvoorwaarden verzameld of gedefinieerd in de vorm van meteorologische daggegevens van 1971-1986 en is het te voeren beheer van het oppervlaktewater nauwkeurig gedefinieerd.

Vervolgens zijn de kosten en baten verzameld. Met gegevens van de waterschappen en met normbedragen zijn per deelgebied de investeringen en variabele kosten op waterschapsniveau vastgesteld. Deze gegevens zijn herleid tot jaarlijkse bedragen voor de situatie in het jaar 2000.

Daarbij zijn aanvoersituaties onderscheiden van een infrastructuur met een capaciteit van $1/6$, of $1/3 \text{ l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$. De eerste capaciteit is toereikend voor wateraanvoer voor subinfiltratie; de laatste is alleen van belang als ook uit oppervlaktewater berekend wordt. Hetzelfde onderscheid is gemaakt bij de bepaling van de kosten van wateraanvoer voor het primaire kanalenstelsel met gegevens van Rijkswaterstaat en, voor de Peelkanalen, van het waterschap De Aa. Daarbij is eerst een situatie "context 2000" onderscheiden over de gerealiseerde infrastructuur in het jaar 2000 bij huidig en voorgenomen beleid. Vervolgens zijn maatregelen geanalyseerd om de aanvoermogelijkheden te vergroten.

De baten van wateraanvoer zijn afgeleid uit de hydrologische berekeningen door de relatieve verhoging van de gewasverdamping gelijk te stellen aan de relatieve verhoging van de fysieke gewasopbrengst. Dit wordt omgezet in geldelijke opbrengsten door produktieprijzen te berekenen. Daarbij zijn in overleg met het LEI drie varianten voor het EG-landbouwbeleid genomen: een prijs-variant waarbij de prijzen in 2000 fors zijn gedaald, een prijs/quota-variant waarbij een deel van de grond uit produktie wordt genomen, en een huidig beleidsvariant die leidt tot grote overproduktie en derhalve niet-realistisch is. Bij de rentabiliteitsberekening is voornamelijk gewerkt met de prijs/quota-variant.

De voornaamste uitkomsten van de hydrologische berekeningen zijn:

- Conservering geeft een verhoging van de langjarig gemiddelde verdamping van 0 tot 3%, die voornamelijk wordt behaald op gronden met een Gt VI. Verhoging van de grondwaterstand bevindt zich vrijwel altijd tussen 0 en 15 cm, blijkt het hele jaar op te treden, en in het voorjaar zijn maximum te bereiken.
- Bij wateraanvoer voor subinfiltratie worden vooral verhogingen berekend van de langjarig gemiddelde verdamping op Gt V, VI en VII. Er is een duidelijke invloed op de grondwaterstand het hele jaar door, oplopend tot 30 cm. Het maximale effect wordt in augustus bereikt, maar neemt in januari pas weer af. De langjarig gemiddelde verhoging eind juli is op grasland veel duidelijker (10-25 cm) dan op maïspancelen (0-15 cm). In zeer extreme situaties zoals in 1976 ontstaan vrijwel overal verhogingen van meer dan 25 cm.
- De oogstpercentages bij berekening zijn vrijwel altijd ca. 100% voor gronden met Gt V, VI, of VII. Berekening is dus een zeer effectieve manier om de gewasverdamping te optimaliseren. Het maximale effect op de grondwaterstand wordt weer in augustus bereikt en neemt in januari pas weer af. De maximale extra grondwaterstandsverhoging door berekening bedraagt 26 cm in 1976 op akkerbouwpercelen.

Vergelijking van kosten en baten levert uitsluitend over de rentabiliteit van waterconservering en wateraanvoer. De eerste stap is de bepaling van de rentabiliteit op waterschapsniveau. Per deelgebied zijn de jaarlijkse kosten en baten vergeleken. Over deze "interne rentabiliteit" zijn de volgende conclusies te trekken:

- Conservering is vrijwel voor elk deelgebied intern rendabel. Gesommeerd bedragen de totale interne baten van de prijs/quota-variant in de bestaande deelgebieden f 242 000,- (totaal oppervlak ca. 12 000 ha) en in de uitbreidingen ca. f 31 000,- (oppervlak ca. 1900 ha).
- Wateraanvoer voor subinfiltratie is intern rendabel voor alle bestaande deelgebieden (totale interne baten f 444 000,-). Dit zijn vrijwel nooit uitbreidingen (totale interne baten -f 36 000,-).
- Wateraanvoer voor berekening uit oppervlaktewater in vergelijking met een situatie zonder berekening is vrijwel nooit intern rendabel als ook de kosten op bedrijfsniveau worden meegenomen. Uitgesplitst naar grondgebruik blijkt dat berekening voor akkerbouw of grasland nergens intern rendabel is, maar dat berekening van vollegrondstuinbouw wel in alle bestaande deelgebieden en een aantal uitbreidingen intern rendabel is.
- Wateraanvoer voor berekening uit oppervlaktewater in vergelijking met een situatie met berekening uit grondwater is altijd intern rendabel. Hierbij wordt aan berekening uit oppervlaktewater f 100,- aan zogenaamde substitutie-baten per beregende ha toegekend t.o.v. berekening uit grondwater (f 50,- als besparing op de put, en f 50,- vermindering van schade op niet-beregende percelen).

De tweede stap is de bepaling van de rentabiliteit op boven-regionaal niveau, rekening houdend met de kosten van het primaire stelsel voor aanvoer van Maaswater en knelpunten in dit stelsel. Dit stelsel omvat behalve Noord-Limburg ook midden en oostelijk Noord-Brabant. Er is een optimaliseringsmodel voor het oplossen van het verdelingsprobleem gebruikt. Daarmee zijn waterverdelingen vastgesteld voor de autonome situatie in het jaar 2000 en situaties waarbij één of meerdere maatregelen worden doorgevoerd om de wateraanvoermogelijkheden te vergroten. Over de rentabiliteit op boven-regionaal niveau zijn de volgende conclusies te trekken:

- Er zijn geen boven-regionale kosten aan conservering verbonden, zodat de berekende rentabiliteit op waterschapsniveau blijft bestaan.
- In de autonome situatie (context 2000) bedraagt de som van de netto interne baten van de deelgebieden die in een 10%-droog jaar water krijgen in het waterschap Noord-Limburg als het aangevoerde water alleen wordt gebruikt voor subinfiltratie f 436 000,-, terwijl de aanvoerbehoefte in de maatgevende week 1031 l.s⁻¹ is. Als het aangevoerde water ook wordt gebruikt voor beregening uit oppervlaktewater i.p.v. uit grondwater, stijgen de totale netto interne baten voor waterschap Noord-Limburg tot f 773 000.- bij 3096 l.s⁻¹.
- Uitbreiding van de doorvoercapaciteit van de Peelkanalen met ca. 1,5 m³.s⁻¹ door relatief weinig ingrijpende aanpassingen is een profijtelijke maatregel.
- Uitbreiding van de inlaatcapaciteit van de Peelkanalen vanuit de Noordervaart bij Katsberg met 1,0 m³.s⁻¹ in combinatie met een uitbreiding van de inlaatcapaciteit op de Noordervaart vanuit de Zuid-Willemsvaart van 4,0 m³.s⁻¹ naar 5,5 m³.s⁻¹ is te overwegen als aan wateraanvoer voor substitutie-baten beregening uit oppervlaktewater worden toegekend (ca. f 100,- per beregende ha).
- Maatregelen om de aanvoer van Maaswater naar Noord-Limburg te vergroten, hangen samen met de effecten in midden en oostelijk Noord-Brabant. Indien uitsluitend water wordt aangevoerd voor subinfiltratie, is behalve uitbreiding van de capaciteit naar of op de Peelkanalen, uitbreiding van de doorvoercapaciteit van de tak van de Zuid-Willemsvaart tussen Nederweert en Helmond van 5,0 m³.s⁻¹ naar 6,0 m³.s⁻¹ zinvol. Indien ook water wordt aangevoerd voor beregening, is uitbreiding van laatstgenoemde capaciteit tot 7,5 m³.s⁻¹ in combinatie met uitbreiding van de gemaalcapaciteit bij Panheel van 6,0 m³.s⁻¹ naar 6,0 m³.s⁻¹ zinvol. Een alternatief is de capaciteit van de Zuid-Willemsvaart uit te breiden tot 6,5 m³.s⁻¹ en een gemaalcapaciteit van 1,8 m³.s⁻¹ bij Oosterhout te installeren.

Bij de derde stap wordt rekening gehouden met de schaarste aan Maaswater bestemd voor de landbouw. Uit een analyse van de afvoeren van de Maas bij Monsin volgt, dat in een 2%-droog jaar (1976) gedurende slechts drie van de twaalf zomerdecades Maaswater voor de landbouw beschikbaar is geweest. Daardoor wordt een deel van de te behalen baten door wateraanvoer niet gerealiseerd. De financiële haalbaarheid van de onderzochte maatregelen

wordt daardoor echter niet anders. Omdat de voorziening van Maaswater via Oosterhout altijd is gewaarborgd, is er een lichte voorkeur voor het bouwen van een gemaal bij Oosterhout indien water moet worden aangevoerd voor beregening.

De voornaamste conclusies na evaluatie van de resultaten zijn:

- Verschillen in peilbeheer binnen een peilvak komen in de praktijk niet voor, maar worden door SWW wel (per Gt) gesimuleerd. Hierdoor wordt het subinfiltratie-effect overschat voor die delen van een peilvak, waar in de praktijk niet het beste peilbeheer op wordt afgestemd. Het blijkt het gunstigst het peilbeheer te richten op gronden met een Gt VI, aangezien de gronden met Gt III meestal toch onder gras liggen en deze weinig tot geen schade ondervinden van een "natter" peilbeheer. Door de natste, laagste gronden uit produktie te nemen (bijv. na opkoping) nemen de mogelijkheden van peilbeheer sterk toe.
- De invloedszone van peilbeheer voor wateraanvoer wordt vooral bepaald door de beschikbaarheid voor oppervlaktewater afhankelijk van de bodemdiepte van de beheersbare waterlopen. Omdat deze te stellen is op 1,60 tot 1,80 m - mv., strekt de invloedszone zich uit tot 1,10 tot 1,30 m boven het streefpeil in de zomer.
- De modelberekeningen zijn zeer gevoelig voor verandering van de drainageweerstand in het traject tussen 400 en 800 dagen (vermindering van het subinfiltratie-effect met 50-75%).
- De verwachte verschuiving van de huidige Gt in vergelijking met de Gt van de bodemkaart, opgenomen in de jaren 60, is deels ondervangen door systematisch associaties aan de drogere Gt's van de samenstellende eenheden toe te kennen en door de hydrologische parameters zo te kiezen, dat de gesimuleerde Gt's ongeveer een halve klasse droger uitkomen dan de gekarteerde Gt's.
- Het conserveringseffect is zeer gevoelig voor verschuiving van en naar Gt VI.
- Het subinfiltratie-effect is met name gevoelig voor verschuiving van en naar Gt VII.
- Het subinfiltratie-effect is gevoelig voor het al dan niet modelleren van kwel/wegzijging als randvoorwaarde (tot ca. 50%).
- Het gebruik van het Geografisch Informatie Systeem (GIS) ARC/INFO is geschikt gebleken voor de bewerking en verwerking van geografische informatie. Met name de mogelijkheid om dwarsdoorsneden (overlays) van informatie te maken (bijv. bodemeenheden met Gt met deelgebied) en rekenresultaten op elke schaal te presenteren (bijv. gesimuleerde grondwaterstanden per bodemeenheid en Gt) is erg waardevol gebleken.
- De regionale stroming wordt niet expliciet in het systeem betrokken, maar slechts als randvoorwaarde meegenomen in de hydrologische parameters: Regionale verschillen worden gekoppeld aan de bodem en de grondwatertrap. De schematisering in bodemfysische eenheden en per Gt zijn op lokaal niveau niet verifieerbaar; op deelgebiedsniveau bleek deze redelijk verantwoord: Metingen van de wateraanvoer in 1989 kwamen redelijk overeen met de gesimuleerde wateraanvoer voor subinfiltratie.

- Op lokale schaal kunnen de uitkomsten van de simulatieberekeningen sterk afwijken van de werkelijkheid. Het is een onmogelijke eis om op lokaal niveau altijd een goede overeenkomst te realiseren tussen berekende en gemeten waarden voor een studie van deze omvang. Gezien de vraagstelling is het niet van belang of op lokaal niveau de uitkomsten juist zijn.
- Essentieel is of de uitkomsten op waterschapsniveau zo juist zijn dat op grond daarvan beslissingen kunnen worden genomen over conservering en wateraanvoer. Toetsing aan veldwaarnemingen en andere studies (o.a. Everlose Beek, Lollebeek en in het waterschap De Aa) bieden enig vertrouwen. Van groot belang hierbij is ook de marge tussen kosten en baten. Voor bestaande gebieden is de betrouwbaarheid van de uitkomsten zonder meer voldoende, maar ook in de uitbreidingen is de marge nog steeds zo ruim, dat ook bij heel andere uitkomsten de rentabiliteit van maatregelen niet zal veranderen.
- De rentabiliteit van wateraanvoer voor beregening uit oppervlaktewater in vergelijking met een situatie zonder beregening wordt voornamelijk bepaald door de vraag of de kosten op bedrijfsniveau meegeteld worden. Beregening uit oppervlaktewater is altijd rendabel t.o.v. beregening uit grondwater.
- De resultaten van berekeningen met het verdelingsmodel om de aanvoercapaciteiten vast te stellen, zijn sterk afhankelijk van de uitgangspunten en randvoorwaarden. Deze zijn echter minder "hard" dan volgt uit de formele beschrijving ervan. Zo zijn de interne baten veel minder hard dan wordt gesuggereerd door de nauwkeurigheid van de cijfers. Kostenposten zijn het resultaat van redelijk geschematiseerde aannames. Tevens onderschat de waterverdeling gebaseerd op een droge periode, wellicht de mogelijkheden van wateraanvoer. Buiten deze periode is de aanvoercapaciteit immers toereikend om meer deelgebieden van water te voorzien. De uitkomsten moeten dan ook vooral worden gezien als richtinggevend.

Bovenstaande gevolgtrekkingen zijn gebaseerd op een "éénzijdige" benadering vanuit de landbouw. In een mogelijke vervolgstudie zal aandacht worden geschonken aan relaties met grondwater- en oppervlaktewaterbeheer in brede zin.

1 INLEIDING

Voor de Wet op de waterhuishouding moeten Gedeputeerde Staten van Limburg een provinciaal waterhuishoudingsplan vaststellen. In dit plan moeten alternatieven worden ontwikkeld voor de behoefte aan en de beschikbaarheid van oppervlaktewater. De motivering hiervoor is dat oppervlaktewater vele functies kan vervullen, zoals:

- produktiefactor voor de landbouw;
- milieufactor die direkt of indirect invloed uitoefent op flora en fauna in open waterlopen en natuurgebieden;
- compensatie voor onttrekkingen uit het grondwater.

Door deze veelheid van functies van het water kunnen de belangen tegenstrijdig zijn. De belangen op provinciaal niveau dienen afgewogen te worden in het kader van het provinciaal waterhuishoudingsplan.

Met name voor het gebied van het waterschap Noord-Limburg is het relevant of uitbreiding van aanvoer van Maaswater voor de landbouw rendabel is en welke effecten die heeft op natuur en milieu.

In een aantal jaren is bij de huidige klimatologische omstandigheden in Nederland de natuurlijke neerslag in het groeiseizoen onvoldoende voor optimale groei van landbouwgewassen. Dit tekort kan worden verminderd of opgeheven door beregening uit grondwater, maar ook door aanvoer voor peilhandhaving en beregening uit oppervlaktewater. Voor het waterschap Noord-Limburg kan dit worden gerealiseerd door aanvoer van Maaswater vanaf Maastricht via Lozen (België), via de Zuid-Willemsvaart en de Noordervaart (zie kaart 1). De vraag is echter of het handhaven of creëren van voorzieningen voor uitbreiding van wateraanvoer rendabel is. Om hierin meer inzicht te krijgen is aan het Staring Centrum in mei 1989 opdracht gegeven te onderzoeken of uitbreiding van wateraanvoer naar Noord-Limburg voor de landbouw rendabel is, wat de vereiste aanvoercapaciteit is, en welke verdeling over het gebied gewenst is.

Meer in detail moet het onderzoek antwoord geven op de volgende beleidsvragen:

- wat zijn de hydrologische effecten van een "optimale" waterconservering en wat is de rentabiliteit?;
- is (uitbreiding van) wateraanvoer vanuit de Maas in landbouwkundig opzicht rendabel, gelet op de te verwachten baten op bedrijfsniveau, de benodigde investeringen, aan wateraanvoer verbonden kosten op bedrijfsniveau, op het niveau van de waterschappen en de boven-regionale waterbeheerder;
- wat is de gewenste verdeling van het aangevoerde water over de inlaatgebieden, een verdeling gebaseerd op het hoogst haalbare rendement;
- wat zijn de te verwachten ontwikkelingen met betrekking tot de omvang en rentabiliteit van beregening.

Om deze vragen te beantwoorden dienen de uitgangspunten goed te worden vastgesteld. In overleg met de begeleidingsgroep

"WATERAANVOER NOORD-LIMBURG" zijn deze als volgt geformuleerd:

- 1 De studie zal zich beperken tot maatregelen die waterschappen en provincie en Rijk kunnen nemen.
- 2 De kosten en baten worden bepaald uitgaande van een "maatschappelijk-economische" benadering. Subsidies en belastingen worden niet meegenomen.
- 3 Het gebied is geografisch beperkt tot het stroomgebied van het waterschap Noord-Limburg (zie kaart 2).
- 4 Als uitgangssituatie voor het waterbeheer door het waterschap vormt de afwateringssituatie geen belemmering voor een goede ontwatering. Iedere vorm van actief peilbeheer blijft hierbij buiten beschouwing. Deze situatie zal worden aangeduid met "vrije drainage".
- 5 Als uitgangsjaar voor de bestudeerde situatie wordt genomen het jaar 2000. Dit betekent wel dat de landbouwkundige situatie in dat jaar zo goed mogelijk moet worden voorspeld. Gelet op de grote onzekerheden m.b.t. met name de EG-landbouwpolitiek is daarom met verschillende scenario's (bijv. voortzetting van het huidige beleid of structurele prijsverlaging van overschotprodukten) gerekend, die in overleg met het Landbouwkundig Economisch Instituut (LEI) zijn vastgesteld.
Een prijs/quota-variant, waarbij wordt overgegaan op lagere prijzen in combinatie met quotering van produkten is hierbij aangemerkt als de meest reële variant. Deze heeft als basis gediend voor de landbouwkundige rentabiliteitsberekeningen.
- 6 Voorzieningen voor wateraanvoer zullen alleen daar worden gerealiseerd (of gehandhaafd) waar de baten groter zijn dan de kosten.

Deze uitgangspunten vormen de randvoorwaarden waarbinnen het onderzoek zich afspeelt. Binnen dit raamwerk moet, met zoveel mogelijk beschikbare gegevens en binnen een bepaald tijdsbestek, antwoord worden gekregen op de relevante beleidsvragen.

2 WATERHUISHOUDKUNDIG SYSTEEM

2.1 Gebied

Het studiegebied wordt gevormd door het stroomgebied van het waterschap Noord-Limburg met een oppervlakte van circa 50 000 ha (zie kaart 2).

Gegeven de vraagstelling, de rentabiliteit van (uitbreiding van) aanvoer van Maaswater, worden vervolgens die gebieden uitgesloten die, voor hun watervoorziening, niet afhankelijk zijn van aanvoer van Maaswater via de Zuid-Willemsvaart en de Noordervaart.

In geo-hydrologisch opzicht is het gebied globaal op te delen in de Peelhorst en de Slenk van Venlo (zie kaart 3). Op de Peelhorst en de Slenk van Venlo ligt onder de deklaag één watervoerend pakket. Voor verdere geo-hydrologische beschrijving van deze deelgebieden wordt verwezen naar de grondwaterkaart van Nederland van de kaartbladen 52 West en 52 Oost (DGV-TNO, 1973, en 1978).

Fysisch-geografisch kan het grootste gedeelte van het studiegebied gekarakteriseerd worden als het Brabants-Limburgse zandlandschap. Uitzonderingen hierop zijn het Peelhorstlandschap en het riviervlaktelandschap.

De bodemkundige situatie van het studiegebied is gekenmerkt door overwegend zandgronden (podzolen) op de relatief hogere delen van het landschap en veengronden of associaties van zand-, leem- en veengronden in de beekdalen, afgewisseld met enkeerdgronden.

2.2 Landbouwkundige situatie

In de landbouwkundige situatie anno 1985 bestaat het grootste deel van het grondgebruik uit grasland (43%). Het aandeel maïs beslaat ca. 21%, het aandeel akkerbouw ca. 18%, terwijl vollegrondstuinbouw en fruitteelt ca. 16% van het oppervlak innemen (cijfers gebaseerd op CBS-gegevens van de Landbouwmetelling uit 1985).

2.3 Waterhuishouding

De waterhuishoudkundige situatie is onder te verdelen in de ontwateringssituatie, de afwateringssituatie, de wateraanvoersituatie, de situatie m.b.t. de beregening en de situatie m.b.t. het operationele beheer.

Ontwatering

In de afgelopen decennia is op grote schaal de ontwatering gewijzigd door het uitdiepen van sloten e.d., al of niet in het kader van ruilverkavelingen. In de natste delen is veelal drainage toegepast. Het gevolg is dat in het landbouwgebied het grondwaterstandsverloop gedurende het jaar minder hoge standen vertoont, wat zich kan uiten in een verschuiving van de grondwatertrappenclassificatie (voor definities, zie aanhangsel 2). Bij een revisie van de grondwatertrappen van drie kaartbladen in Noord-Brabant door STIBOKA komt deze verschuiving dan ook regelmatig voor (Bles en Beekman, 1984).

Afwatering

In het kader van ruilverkavelingen en zgn. A2-werken is de afwateringssituatie in grote delen van het studiegebied vanuit landbouwkundig oogpunt sterk verbeterd, waardoor innudaties en stremmingen van de afvoer nu veel minder frequent voorkomen dan in het verleden (zie ook kaart 2).

Aanvoer

De huidige aanvoer van water dat oorspronkelijk afkomstig is uit de Maas staat globaal weergegeven in (de reeds in de inleiding aangehaalde) kaart 1.

Een meer gedetailleerd beeld van aanvoercapaciteiten en beschikbaarheid van Maaswater geeft kaart 4. Mogelijke verandering in deze configuratie is onderwerp van deze studie.

Berekening

In het studiegebied wordt op vrij grote schaal berekend en verreweg de grootste bron van herkomst is het grondwater. De gegevens die betrekking hebben op kaarten 5 en 6 zijn ontleend aan Reinds (1986).

Het betreft hier het beregenbaar oppervlak. Uit inventarisatie is bekend dat, vooral in de wat nattere jaren, het beregend oppervlak kleiner is. De geschetste situaties geven een enigszins vertekend beeld: op plaatsen met wateraanvoer wordt binnen zekere afstanden tot de watervoerende watergangen berekend uit het oppervlaktewater. Er wordt overgegaan op berekening uit grondwater als de vraag zo groot wordt, dat het aanbod wordt overtroffen, zulks op aanwijzing van het waterschap. Deze grondwateronttrekkingen zijn in de provincie Limburg meldingsplichtig.

Beheer

Tegelijkertijd met de verbetering van de afwateringssituatie en/of de realisatie van wateraanvoer zijn veelal mogelijkheden tot een actiever peilbeheer met in hoogte verstelbare stuwen en regelbare inlaatwerken gerealiseerd. Zo kan in het voorjaar water worden vastgehouden (conservering). In het geval van wateraanvoer kan het hogere zomerpeil ook voor langere tijd worden vastgehouden. Daarmee kan een verschil worden gerealiseerd tussen het winterpeil en het (hogere) zomerpeil. Het gaat hierbij veelal om een verschil van 30 tot 50 cm.

3 ONDERZOEKSMETHODE

3.1 Probleemschets

De eis die aan de methodiek gesteld kan worden luidt kort samen-gevat:

Kwantificering van de effecten van conservering en van aanvoer van Maaswater naar het waterschap Noord-Limburg op de landbouwkundige opbrengsten en vergelijking van daaruit voortvloeiende geldelijke opbrengsten met de daarvoor te maken kosten, zodanig ruimtelijk en in de tijd gedifferentieerd dat op basis hiervan de rentabiliteit van waterbeheersplannen kan worden vastgesteld en de allocatie van wateraanvoer kan plaatsvinden.

Voor een goede keuze is het van belang inzicht te hebben in de factoren die een rol spelen bij wateraanvoer voor de landbouw. Dit zijn (Oskam, 1961):

- **meteorologische factoren**

Het Nederlandse klimaat kenmerkt zich door een neerslagoverschot in de winter en gemiddeld genomen een neerslagtekort in de zomerperiode. De variatie van de laatste grootheid is echter van jaar tot jaar zodanig dat rekenen met gemiddelde waarden niet is toegestaan.

- **bodemeigenschappen**

In relatie met wateraanvoer is de belangrijkste eigenschap het vochtleverend vermogen van de grond die wordt bepaald door de dikte van de wortelzone, het vochtleverend vermogen per cm bodemlaag en de capillaire naleveringsmogelijkheden vanuit de ondergrond.

- **hydrologische factoren**

Bij wateraanvoer voor peilhandhaving is een belangrijke factor de mate waarin water vanuit het oppervlaktewaterstelsel kan infiltreren in het grondwatersysteem. Daarnaast heeft de intensiteit van kwel of wegzijging grote invloed op het grondwaterstandsverloop en de aan- en afvoer.

- **gewaseigenschappen**

Verdampingstechnisch gezien onderscheiden gewassen zich in het niveau en het verloop in de tijd van de potentiële verdamping en de gevoeligheid voor (tijdelijke) tekorten aan water of te hoge zoutgehaltes in de wortelzone. Zo is het gewas suikerbieten weliswaar gevoelig voor tekorten, maar deze tekorten hebben weinig invloed op de kwaliteit van het te oogsten produkt. Aardappelen daarentegen kunnen op tijdelijke vochttekorten reageren met onomkeerbare vervroegde afsterving.

- **aanvoermogelijkheden**

De mogelijkheden van wateraanvoer zijn van gebied tot gebied sterk verschillend, en vooral afhankelijk van een aanvoersysteem en de hoogteligging t.o.v. de bron waaruit het aan te voeren water moet worden geput.

Uit voorgaande beschrijving kan worden afgeleid dat bij de kwantificering van effecten van wateraanvoer een vrij complex systeem in ogenschouw moet worden genomen.

Gelet op de grootte van het te onderzoeken gebied en dat de te kiezen methodiek effecten moet kunnen voorspellen, zal er een zekere schematisatie van het te beschouwen systeem moeten plaatsvinden en dient een methodiek te worden gekozen, waarmee situaties kunnen worden nagebootst die feitelijk nog niet bestaan en voor een deel ook nooit zullen worden gerealiseerd. In de volgende paragraaf wordt een overzicht gegeven van de beschikbare methoden.

3.2 Methoden voor bepaling van landbouwkundige effecten van wateraanvoer

In opdracht van Rijkswaterstaat heeft het Waterloopkundig Laboratorium (WL) een overzicht samengesteld van de methoden in Nederland voor de bepaling van de landbouwaanvoerbehoefte en zijn methoden met elkaar vergeleken (Waterloopkundig Laboratorium, 1985). Op basis van deze studie en een inventarisatie van veel aanvoerstudies die in Nederland de laatste decennia zijn uitgevoerd, is de volgende indeling te maken:

- a. Normatieve methoden waarbij op basis van eerdere onderzoeken of praktisch inzicht zowel de aanvoerbehoefte als het effect worden geschat.
- b. Statistische methoden waarbij gegevens over neerslag en verdamping worden omgezet in bijv. overschrijdingsduurlijnen van het neerslagtekort.
Bij aannahme van een bijdrage van de bodem aan de vochtleverantie kan de piekaanvoerbehoefte worden vastgesteld.
- c. Methoden die gebruik maken van historische reeksen van neerslag en verdamping. Veelal zijn dit methoden die gebaseerd zijn op computersimulaties van het bodem-, gewas-, atmosfeersysteem.
- d. Praktijkproeven.

Alle methoden hebben voor- en nadelen. Methode a. blinkt uit door zijn eenvoud, maar levert slechts een eerste grove benadering; methode b. heeft als grote nadeel dat de opeenvolging in de tijd van droge en natte perioden niet meer wordt meegenomen; methode c. is van alle rekenmethoden de meest realistische, maar vereist ook de meeste gegevens en rekeninspanning; methode d. is per definitie het meest realistisch, maar is alleen in bijzondere gevallen toepasbaar omdat, zeker bij planningsvraagstukken, uitspraken moeten worden gedaan voor situaties die nog niet bestaan. Door de snel toegenomen mogelijkheden van computergebruik is het gebruik van computermodellen bij vrijwel alle vraagstukken bij de planning van de waterhuishouding gemeengoed geworden. Echter de diverse computermodellen verschillen sterk in mogelijkheden. De keuze wordt naast de vraagstelling bepaald door

beschikbaarheid van gegevens en subjectieve factoren zoals de bekendheid met het betreffende model. Over dit keuzevraagstuk handelt de volgende paragraaf.

3.3 Gebruikte simulatiemethode

Nu de keuze voor het gebruik van computermodellen is gemaakt, moet vervolgens het type simulatiemodel gekozen worden. Door SAMWAT is hiervoor een database samengesteld (Volp en Lambrechts, 1988).

In dit rapport worden computermodellen voor het waterbeheer onderverdeeld in de volgende categorieën:

- grondwater, te splitsen naar verzadigd en onverzadigd;
- oppervlaktewater;
- neerslagafvoermodellen;
- modellen voor landbouwkundige produktie;
- data-processing;
- beleidsondersteunende modellen;
- regionale watervoorziening;
- meteorologie.

Op het eerst gezicht zal de keuze moeten vallen op modellen voor de regionale watervoorziening. Echter als voor het gehele studiegebied de regionale grondwaterstroming tezamen met de stroming van water in de onverzadigde zone en in het oppervlaktewater moet worden geïnventariseerd en gemodelleerd, zal dat logistieke problemen opleveren. Deze stelling is gebaseerd op ervaringen met dit type modellen, waarbij de grootte van het gebied maximaal 30 000 ha bedraagt (Kortleve, 1989; Dijkema, 1986; Querner and Van Bakel, 1988; en Poelman, 1987).

De essentiële volgende stap is de opdeling van het studiegebied in onafhankelijke unieke combinaties van bodemkundige eenheden en hydrologische situaties. In analogie met de eco-hydrologie zou men kunnen spreken van een "standplaatsbenadering". De verschillen in bodemkundige eenheden zijn maatgevend voor verschillen in eigenschappen die bepalend zijn voor het hydrologisch "gedrag", met name de bodemfysische eigenschappen en de bewortelingsdiepte; de verschillen in hydrologische situatie zijn maatgevend voor verschillen in regionale stroming (kwel of wegzijging) en voor verschillen, waarin de hydrologie van een standplaats kan worden beïnvloed door het beheer van het oppervlaktewater.

Een dergelijke "standplaatsbenadering" is in Nederland meerdere malen toegepast. Voorbeelden zijn het toepassen van het model DEMGEN voor bepaling van de landbouwaanvoerbehoefte per (sub)district waarin Nederland is opgedeeld (Pulles, 1983), en het toepassen van het model HYMUST voor bepaling van de maatgevende aanvoercapaciteit naar deelgebieden in zuidelijk Zuid-Holland (Werkgroep Zuid-Holland, 1988).

Beide modellen gaan uit van een benadering van de stroming van water in de onverzadigde zone als een opeenvolging van stationaire (d.w.z. niet met de tijd veranderende) situaties, de zgn. quasi-stationaire benadering.

Bovendien wordt geen rekening gehouden met effecten van de waterhuishouding op bewerkbaarheid, berijdbaarheid e.d.

Het model SWATRE (Belmans et al., 1983) gaat uit van een niet-stationaire benadering. Voor de studie naar de landbouwkundige effecten van wateraanvoer in de provincie Drenthe is dit model aangepast om ook effecten van wateraanvoer voor peilbeheer te kunnen simuleren (Keesman e.a., 1985). Naderhand is het model ook geschikt gemaakt voor toepassing als begeleidingssysteem voor het kwantitatieve oppervlaktewaterbeheer en zijn aanpassingen doorgevoerd in de berekening van de kalegrondverdamping en de interactie tussen grond- en oppervlaktewater. Dit model, genaamd SWW (Simulatiemodel Waterbeheer Waterschappen) staat beschreven in Beekman en Van Bakel (1988). Vooral vanwege de met dit model opgedane ervaringen om het peilbeheer te kunnen simuleren, is het voor onderhavige studie gebruikt.

De volgende paragraaf geeft een nadere beschrijving van de modellering van hydrologische processen in SWW en de bijbehorende randvoorwaarden voor toepassing.

3.4 Gemodelleerde processen in SWW

Bij de beschrijving van het hydrologische systeem dat van belang is bij wateraanvoer voor de landbouw kunnen 4 deelsystemen worden onderscheiden:

- het gewas/atmosfeersysteem;
- de onverzadigde zone;
- het verzadigd grondwatersysteem;
- het oppervlaktewatersysteem.

Bij elk deelsysteem zijn basisvergelijkingen te geven voor processen die daarin van belang zijn, zoals de vergelijking van Makkink (Feddes, 1987) voor de bepaling van de verdamping van een referentie-gewas.

Hierna zullen per deelsysteem de gemodelleerde processen alleen worden genoemd (m.u.v. de interactie tussen grond- en oppervlaktewater). Voor de wiskundige weergave ervan wordt verwezen naar Beekman en Van Bakel (1988) of Van Bakel (1985). Ook wordt enige aandacht besteed aan de modellering van wateroverlast.

3.4.1 Gewas/atmosfeersysteem

Potentiële verdamping

Op een zeker tijdstip bepaalt het weer hoeveel een, eventueel met een gewas begroeid, oppervlak maximaal kan verdampen en hoe groot de aanmaaksnelheid is van assimilatieprodukten. Verdamping en produktie van een gewas zijn aan elkaar gekoppeld. Dit betekent dat een reductie in verdamping een reductie in produktie tot

gevolg heeft. Omdat waterbeheer invloed heeft op de verdamping van een gewas, is daarmee de verbinding gelegd tussen waterbeheer enerzijds en gewasproductie (en geldelijke opbrengsten) anderzijds. Uit het voorgaande volgt dat het nodig is een onderscheid te maken tussen de verdamping die, bij een gegeven oppervlak wordt bepaald door de atmosfeer (de zgn. potentiële verdamping, E_p) en de actuele verdamping, E , die mede wordt bepaald door de waterhuishoudkundige toestand. Er bestaan vele methoden om uit meteorologische parameters en kenmerken van het oppervlak de potentiële verdamping te bepalen. Voor waterbeheerders wordt geadviseerd de zgn. Makkink-formule toe te passen, waarmee de verdamping van een referentie-gewas, E_r , wordt berekend. Voor elk ander gewas, en voor kale of gedeeltelijke begroeide grond of voor open water is de potentiële verdamping hieruit te herleiden door vermenigvuldiging met een gewasfactor (Feddes, 1987).

Potentiële gewasverdamping

De potentiële gewasverdamping wordt berekend als de potentiële verdamping verminderd met de potentiële bodemverdamping.

Actuele gewasverdamping

De actuele verdamping van het gewas wordt in SWW berekend aan de hand van de som van wateropname door de wortels, waarbij de wateropname afhangt van de mate waarin de wortelzone water bevat (Belmans et al., 1983).

Potentiële bodemverdamping

De potentiële bodemverdamping hangt af van het niveau van de potentiële verdamping en de bodembedekkingsgraad. De bodembedekkingsgraad op zijn beurt is afhankelijk van het ontwikkelingsstadium van het gewas (Van Wijk and Feddes, 1986).

Actuele bodemverdamping

Bij uitdroging van de grond treedt reductie op in de verdamping. De actuele bodemverdamping is afhankelijk van de capillaire doorlatendheid van de grond.

3.4.2 Onverzadigde zone

Met de onverzadigde zone wordt hier bedoeld de zone tussen het bodemoppervlak en de freatische grondwaterspiegel. Door aan te nemen dat de grondwaterstroming alleen in de verticale richting plaatsvindt en dat de grond niet zwelt of krimpt, wordt de wiskundige beschrijving ervan sterk vereenvoudigd. Met behulp van de Wet van Darcy en de continuïteitsvergelijking toegepast op elk compartiment waarin de onverzadigde zone is op te delen, is de waterbeweging te beschrijven. Daarvoor is het wel nodig te beschikken over de bodemfysische eigenschappen per compartiment, met name de waterretentiekarakteristiek (of pF-curve) en de relatie tussen doorlatendheid en vochtgehalte (drukhoogte).

3.4.3 Verzadigde zone

De waterbeweging in de verzadigde zone kan niet worden vereenvoudigd tot een één-dimensionale stroming. Er dienen op zijn minst twee dimensies te worden meegenomen om de locale en/of regionale grondwaterstroming adequaat te beschrijven. Het is in principe mogelijk dit verzadigd stromingssysteem te koppelen aan de onverzadigde zone en het oppervlaktewatersysteem. Uit praktisch oogpunt is hier (voorlopig) vanaf gezien. In plaats hiervan wordt de flux door de onderrand beschreven als functie van de grondwaterstand en de oppervlaktewaterstand. In formule:

$$q_b = q_d + q_a (+ q_r) \quad [1]$$

waarin: q_b = het specifieke debiet over het grensvlak (cm.d^{-1});
 q_d = het specifieke debiet naar het oppervlaktewaterstelsel (cm.d^{-1});
 q_a = de kwel of wegzijging (cm.d^{-1});
 q_r = het door het peilbeheer geïnduceerd specifiek debiet (cm.d^{-1}).

In fig. 1 wordt deze wijze van schematiseren weergegeven.
 De term q_d is te schrijven als:

$$q_d = \frac{h_g - h_o}{\eta T} \quad ; \quad h_o \geq h_b \quad [2a]$$

$$q_d = 0 \quad ; \quad h_o < h_b \quad [2b]$$

waarin: h_g = de gemiddelde grondwaterstand
 h_o = het oppervlaktewaterstand (cm)
 η = de vormfactor van het freatisch vlak (-)
 T = de ontwateringsweerstand (d) en
 h_b = de hoogte van de bodem van de waterloop (cm)

Vorenstaande vergelijking geldt als er slechts één uniform waterlopenstelsel aanwezig is. Echter in de regel zullen bij hogere grondwaterstanden meer waterlopen aan het afvoerproces deelnemen, of zullen bij subinfiltratie (omgekeerde van drainage) waterlopen droogvallen. In het algemeen is een indeling in een beheersbaar (secundair) en niet-beheersbaar (tertiair) waterlopenstelsel, elk met een eigen ontwateringsweerstand, zinvol. Het kenmerk van het beheersbaar deel is dat hierbij de open waterstand in de waterlopen beheersbaar is en dat zowel drainage als subinfiltratie kan plaatsvinden. Het kenmerk van het niet-beheersbaar deel is dat alleen drainage kan plaatsvinden en wel met een intensiteit die een functie is van de hoogte van de grondwaterstand boven zijn ontwateringsbasis. Deze indeling leidt tot de volgende uitdrukking:

$$q_d = q_d' + q_d'' \quad [3]$$

De term q_d' is te beschrijven met vergelijking [2] terwijl q_d'' beschreven kan worden als:

$$q_d'' = \max \left\{ 0, \frac{h_g - h_{b,t}}{\eta \gamma''} \right\} \quad [4]$$

waarin: $h_{b,t}$ = de hoogte van de bodem van het niet-beheersbaar stelsel (m)

γ'' = de ontwateringsweerstand van dit stelsel (d)

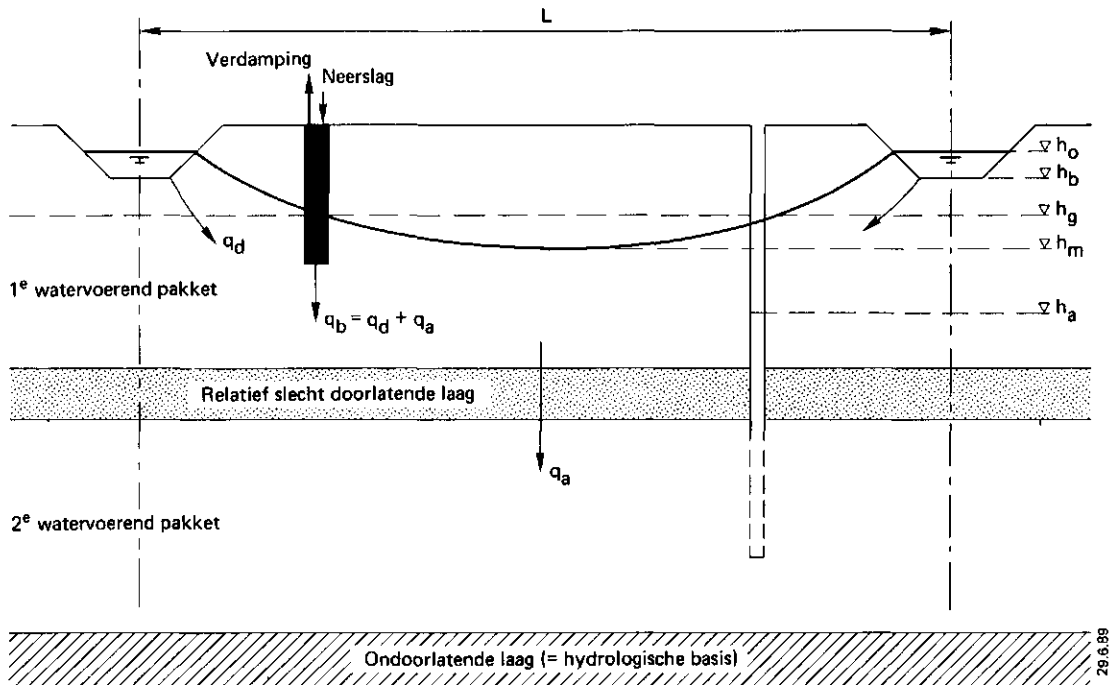


Fig. 1 Schematische voorstelling van de verschillende grondwaterstromingen (naar Belmans et al., 1983).

h_o = waterstand in het oppervlaktewaterstelsel (cm)

h_b = bodemhoogte waterloop (cm)

h_g = gemiddelde grondwaterloop (cm)

h_m = grondwaterstand midden tussen de sloten (cm)

h_a = grondwaterstand in het 2e watervoerend pakket (cm)

q_b = specifiek debiet over onderkant één-dimensionaal model gemodelleerd met SWW (cm.d⁻¹)

q_d = specifiek debiet naar oppervlaktewaterstelsel (cm.d⁻¹)

q_a = kwel of wegzijging (cm.d⁻¹)

Indien bekend is dat het beheersbaar danwel niet-beheersbaar stelsel verder is onder te verdelen, kan voor elke deelverzameling vergelijking [2] of [4] worden toegepast. Dit is bijv. het geval bij buisdrainage. De kwel of wegzijging, q_a , kan op verschillende manieren worden weergegeven:

- als constante gedurende het gehele jaar;
 - als functie van de tijd;
 - als functie van de grondwaterstand en de open waterstand.
- Welke functie wordt gekozen is afhankelijk van de beschikbare gegevens.

3.4.4 Oppervlaktewatersysteem

Het oppervlaktewatersysteem van een gebied vervult veelal twee functies, nl. drainage of subinfiltratie en af- of toevoer van water.

In par. 3.4.3 is beschreven hoe de drainage of subinfiltratie, q_d , kan worden berekend met de vergelijkingen [2] t/m [4]. In de eerste twee vergelijkingen komt de open waterstand, h_o , voor. Via deze variabele kan de relatie worden gelegd met het peilbeheer. De berekening van de open waterstand op elk moment geschiedt met de waterbalans van het beheersbaar stelsel. Daarbij gelden als randvoorwaarden het te handhaven streefpeil (de waterstand in het oppervlaktewater komt nooit hoger dan het streefpeil) en de bodemhoogte van de waterloop (zodra de waterstand lager komt dan de bodem wordt de watergang modelmatig buiten werking gesteld). Binnen deze randvoorwaarden wordt dus de waterstand in het oppervlaktewater bepaald door de hydrologische situatie. Zo zal bijv. de open waterstand in het voorjaar dalen als gevolg van het dalen van de grondwaterstand, tenzij dit op een bepaald niveau wordt gehouden door aanvoer van water.

De belangrijkste sturingsvariabele is het te handhaven streefpeil. Benadrukt moet worden dat dit streefpeil niet gelijk hoeft te zijn aan het actueel peil. Bijv. tijdens langdurige droogte en onvoldoende wateraanvoer streeft het waterschap weliswaar naar hoge peilen in het oppervlaktewaterstelsel, maar deze kunnen dan niet worden gerealiseerd. Van Bakel (1985) heeft uitgebreid beschreven hoe de beheersregels voor het instellen van dit peil zijn te koppelen aan de grondwaterstanden en de vochtvoorraad in de wortelzone (zie ook par. 3.6). Een van het streefpeil afgeleide sturingsvariabele is de wateraanvoer. In periodes dat aanvoer is toegestaan, is deze in principe gelijk aan de maximale aanvoercapaciteit. Echter wanneer een voorspelbare afvoer zal plaatsvinden in de loop van de periode waarvoor de aanvoer wordt vastgelegd, zal de aanvoer worden gereduceerd. Voor een gefixeerde aanvoer kan de verandering in open waterstand benaderd worden door de waterbalansvergelijking voor het open waterstelsel een bepaalde periode vooruit te rekenen. Dit levert een open waterstand op die gelijk moet zijn aan het ideaal geachte stuwpeil. Indien het daarvan afwijkt kan de waterbalansvergelijking opnieuw worden opgelost met een ander aanvoerdebiet, tot het juiste aanvoerdebiet is gevonden.

3.4.5 Indirecte gevolgen van wateroverlast

Hoge watergehalten in het bodemprofiel kunnen tot gevolg hebben dat de zuurstofhuishouding een belemmering gaat vormen voor de wateropname door de wortels. De modellering van dit proces in het model SWW gebeurt via het reduceren van de wateropname door de wortels.

Er zijn echter ook indirecte effecten van natte omstandigheden die niet procesmatig in SWW worden meegenomen, zoals het niet kunnen berijden of bewerken van de grond, of een vertraging in de kieming en opkomst door lagere grondtemperaturen, of extra beweidings- of berijdingsverliezen bij grasland.

Voor de HELP-studie is voor akkerbouwgewassen een procedure ontwikkeld om deze verliezen te kwantificeren (Van Wijk e.a., 1988). Deze procedure is, enigszins aangepast, overgenomen. Dit houdt in dat het model SWW de drukhoogte op 5 cm beneden maaiveld simuleert. Boven een bepaalde grenswaarde kan er geen grondbewerking, zaaien of poten plaatsvinden. Dagen waarop deze grenswaarde wordt overschreden gelden als niet-werkbare dagen. Door een boekhouding van het aantal werkbare dagen kan bepaald worden, wanneer het gewas gezaaid of gepoot kan zijn. Verder kan op basis van de luchttemperatuur en de vochttoestand van de bodem, via een empirische relatie, een temperatuursom vanaf zaaien of planten worden bepaald. Zodra deze temperatuursom de temperatuursom voor opkomst van het gewas overschrijdt, is het "modelgewas" opgekomen.

Vanaf dat moment neemt de bodembedekkingsgraad eerst toe tot 1, blijft dan gedurende een periode gelijk aan 1 en neemt vervolgens weer af. Een verlate opkomst heeft tot gevolg dat het tijdsverloop in de bedekkingsgraad als het ware in elkaar wordt gedrukt, wat een uitdrukking is voor een verkort groeiseizoen met als resultaat een gereduceerde verdamping (en opbrengst). Aangezien veelal de kennis over de parameterwaarden in de boven beschreven processen onvoldoende is, bestaat de mogelijkheid om de opkomstdatum in te voeren.

Voor het tijdig oogsten van het gewas zijn gedurende de oogstperiode een zeker aantal werkbare dagen nodig. Een dag wordt als werkbaar gedefinieerd als de drukhoogte op 5 cm beneden maaiveld kleiner of gelijk is aan -60 cm. Wederom kan via een boekhouding het aantal werkbare dagen worden bepaald. Zodra het werkelijke aantal lager is dan het benodigde aantal, zal een gedeelte van het gewas te laat worden geoogst met als gevolg een reductie in de opbrengst. Voor grasland is een vergelijkbare procedure nog niet operationeel. Daarom wordt hierbij (nog) gewerkt met relaties waarin de opbrengstreductie door wateroverlast een functie is van de gemiddeld hoogste respectievelijk gemiddeld laagste grondwaterstand (GHG resp. GLG) (Werkgroep Landbouwkundige Aspecten, 1984).

3.5 Toepassing van SWW in het studiegebied

Toepassing van het één-dimensionale model SWW op een gebied ter grootte van het waterschap Noord-Limburg vereist de nodige creativiteit in het omgaan met ruimtelijke variabiliteit. De meest essentiële stap in dit proces is geweest om als "sleutel" voor deze ruimtelijke variabiliteit te kiezen voor de bodem- en grondwatertrappenkaarten 1 : 50 000. De motivering daarbij is dat de bodemkaart verschillen aangeeft in bodemfysische eigenschappen (zie ook Wösten e.a., 1988) en dat de grondwatertrappenkaart verschillen aangeeft in kwel en wegzijging en verschillen in interactie tussen grond- en oppervlaktewater. In hoofdstuk 4 wordt de praktische uitwerking hiervan besproken.

De volgende stappen zijn een logisch gevolg van deze keuze:

1. Het studiegebied wordt opgedeeld in deelgebieden die, gezien vanuit het standpunt van wateraanvoer, kunnen worden beschouwd als één beheerseenheid en die kansrijk worden geacht om wateraanvoer te behouden of te krijgen.
2. Stedelijke bebouwing, natuurterreinen en grotere open wateren worden buiten beschouwing gelaten.
3. Per deelgebied wordt de oppervlakte bepaald van elke daarin voorkomende bodemfysisch-hydrologische eenheid.
4. Per bodemfysisch-hydrologische eenheid wordt de waterhuishoudkundige situatie gesimuleerd behorende bij de "vrije drainage situatie".
5. Per eenheid worden de effecten van waterconservering, wateraanvoer voor subinfiltratie en de effecten van beregening voor een reeks van jaren gesimuleerd. Daarbij worden als randvoorwaarden voor de maximale aanvoercapaciteit 1/6 resp. 1/3 l.s.-1.ha⁻¹ genomen en wordt het peilbeheer afgestemd op de technische beperking van in te stellen peilen.
6. Sommatie van deze effecten levert per deelgebied deelgebiedsgemiddelde effecten van wateraanvoer, uitgedrukt in bijv. het effect op de langjarig gemiddelde verdamping, de langjarig gemiddelde seizoensaanvoer of de grondwaterstandsverandering op een bepaald tijdstip.

3.6 Gehanteerde beheersregels

Met het model SWW worden 4 vormen van beheer gesimuleerd: vrije drainage, conservering, wateraanvoer voor subinfiltratie en beregening uit oppervlaktewater. De daarbij gehanteerde beheersregels en randvoorwaarden zullen hierna kort worden behandeld.

a. Vrije drainage:

Bij deze vorm van "oppervlaktewaterbeheer" is het oppervlaktewaterpeil gelijk aan het winterpeil, indien afvoer optreedt en daalt tot beneden dit niveau zodra subinfiltratie optreedt. Er wordt dus geen rekening gehouden met opstuwning.

b. Conservering van water:

Het oogmerk van waterconservering is het vasthouden van grond- en oppervlaktewater in een periode met afvoer voor een periode met een behoefte aan oppervlaktewater. Dit wordt gerealiseerd door in voorjaar en zomer de stuwstand te verhogen, zodra de grondwaterstand voldoende is gedaald.

Daardoor wordt een gedeelte van het grond- en oppervlaktewater dat zou zijn ontwaterd, tijdelijk vastgehouden. De modeltechnische realisatie staat beschreven in Van Bakel, 1985.

c. Wateraanvoer voor subinfiltratie:

Bij waterconservering zakt de waterstand in het oppervlaktewater snel, zodra de grondwaterstand beneden deze waterstand in het oppervlaktewater zakt. Bij wateraanvoer wordt dit uitzakken voorkomen of tegengegaan door extern water aan te voeren. Daardoor gaat er water stromen vanuit het oppervlaktewatersysteem naar het grondwater. Het gevolg is dat de grondwaterstand minder snel daalt of soms wordt verhoogd. Het betekent echter niet dat op plaatsen waar de grondwaterstand wordt beïnvloed, ook oppervlaktewater aanwezig hoeft te zijn.

Als bovenste grens voor de intensiteit van wateraanvoer wordt $1/6 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ gehanteerd.

Voor het overige is het beheer van het oppervlaktewater identiek aan de conserveringsstrategie.

d. Berekening uit oppervlaktewater:

Voor gewassen die worden beregend wordt gespecificeerd bij welke pF-waarde in de wortelzone wordt begonnen met berekening, welke bruto gift maximaal wordt toegediend en hoe lang er minimaal moet worden gewacht, voordat de volgende gift mogelijk is.

In hoofdstuk 4 zijn de gegevens, waarmee het beheer voor de situatie in het waterschap Noord-Limburg is gedefinieerd, verder uitgewerkt.

3.7 Beperkingen van de gekozen aanpak

De keuze voor simulatie van de waterhuishouding per bodemfysisch-hydrologische eenheid heeft duidelijke beperkingen.

Op de eerste plaats is het zeer problematisch om de door peilbeheer geïnduceerde regionale grondwaterstroming (de q_r -term in verg. [1]) vast te stellen. De enige goede mogelijkheid om deze term vast te stellen is om een regionale studie uit te voeren waarin het regionale grondwatersysteem is gekoppeld aan de onverzadigde zone en het oppervlaktewaterstelsel. Hiervan is afgezien vanwege de te grote gebiedsgrootte. Op de tweede plaats moet de "van nature" aanwezige kwel of wegzijging (de q_a -term in verg. [1]) ruimtelijk bekend zijn. Hiervoor geldt dat alleen in kwalitatieve zin hierover het nodige bekend is (o.m. op basis van grondwatertrappen, dichtheid waterlopenstelsel, voorkomen van al of niet vochtminnende vegetatietypen, waterbalansmetingen).

Bovendien is de actualiteit van dergelijke informatie veelal onderwerp van discussie, omdat door bijv. permanente grondwaterwinning en ruilverkavelingen de actuele situatie niet meer in overeenstemming is met in het verleden gehanteerde grondwatertrappen.

Als derde punt moet worden genoemd dat door de één-dimensionale aanpak het niet eenvoudig is na te gaan of het mogelijk is wateraanvoer te beperken door "gebiedseigen" water te transporteren van deelgebieden waar op een bepaald tijdstip nog afvoer optreedt naar gebieden waar op dat tijdstip behoefte is aan wateraanvoer. Verwaarlozing van dit hergebruik geeft derhalve een onderschatting van de mogelijkheden van conservering en een overschatting van de effecten van wateraanvoer en aanvoerhoeveelheden.

In hoofdstuk 8 zal met resultaten van gevoeligheidsanalyses en vergelijking met veldmetingen en resultaten van andere studies een nadere analyse worden gegeven van de gekozen schematisering.

4 HYDROLOGISCHE SCHEMATISERING

De wijze waarop gegevens worden verzameld en verwerkt hangt naast de onderzoeksmethodiek ook af van het systeem om geografische informatie te be- en verwerken. Bij de aanvang van het project was op het Staring Centrum het GIS-systeem ARC/INFO beschikbaar. Het voornaamste kenmerk van dit systeem is dat vlakinformatie in de vorm van polygonen wordt opgeslagen. Verder heeft het goede voorzieningen om gegevens te combineren die op verschillende kaarten (niveaus) beschikbaar zijn. Met name om laatstgenoemde reden, en omdat de bodem- en Gt-kaarten van het gebied in gedigitaliseerde vorm in het ARC/INFO-systeem beschikbaar zijn, is voor dit systeem gekozen. In dit hoofdstuk zal nader worden ingegaan op de praktische ervaringen met dit systeem.

Allereerst echter wordt de procedure behandeld om tot selectie van kansrijke gebieden te komen, waarna de werkzaamheden volgen die nodig zijn om voor die kansrijke gebieden de gegevens te verkrijgen om simulaties met het model SWW te kunnen uitvoeren.

4.1 Kansrijke gebieden

4.1.1 Wateraanvoer

Tot nu toe is van het studiegebied alleen de buitenste begrenzing aangegeven. Binnen dit gebied echter zijn deelgebieden aan te wijzen die niet in aanmerking komen voor wateraanvoer. In overleg met het waterschap, de provincie en de Centrale Landinrichtingscommissie zijn éénduidige selectiecriteria opgesteld om te komen tot een kaart met deelgebieden die nader onderzocht dienen te worden op rentabiliteit van aanvoer van Maaswater. Geformuleerd als uitsluitingscriteria zijn:

- a. grote aaneengesloten oppervlakken stedelijk gebied, natuur- en bosterreinen en recreatieterreinen;
- b. landbouwgebieden waarvoor de benodigde investering in de waterschapsinfrastructuur voor wateraanvoer groter zijn dan f 1000,- per ha profiterend oppervlak (incl. BTW). Om dit te kunnen vaststellen dienen de investeringen (globaal) bekend te zijn en moet worden afgesproken wat wordt verstaan onder profiterend oppervlak. Het eerste punt komt aan de orde in hoofdstuk 5. Het profiterend oppervlak is in overleg met het waterschap in eerste instantie geschat als het oppervlak dat beneden 1,30 m boven het streefpeil in de zomer ligt. In een later stadium is de keuze van deze grens nader onderzocht en voldoende betrouwbaar bevonden (zie hoofdstuk 8).

Naast deze 2 selectiecriteria zijn als aanwijzingen geformuleerd dat bij permanente winningen en waar wateraanvoer kan fungeren als compenserende maatregel voor grondwaterstands dalingen, het f 1000,- criterium wat ruimer gehanteerd zal worden en dat deelgebieden bij voorkeur groter dienen te zijn dan 100 ha om al te veel detaillering te vermijden.

Het resultaat van deze werkzaamheid staat weergegeven op kaart 7. Op kaart 8 zijn tevens de kansrijke deelgebieden in midden en oostelijk Noord-Brabant aangegeven voor aanvoer van Maaswater. Dit laatste voor de bovenregionale verdeling van Maaswater in hoofdstuk 7. Er is onderscheid gemaakt tussen deelgebieden die anno 1989 reeds de mogelijkheid van wateraanvoer hadden of waar geen investeringen meer nodig zijn om wateraanvoer te effectueren, en deelgebieden waar de vraag nog relevant is of investeringen voor wateraanvoer rendabel zijn. Het aldus bepaalde onderzoeksgebied in Noord-Limburg heeft een oppervlak van bijna 17 000 ha.

4.1.2 Waterconservering

Een belangrijk selectie criterium voor wateraanvoer is het "f 1000,- per ha"-criterium. Dit criterium speelt geen rol bij de selectie van, voor waterconservering kansrijke, gebieden.

De kans is dan ook groot dat het voor conservering te beschouwen gebied veel omvangrijker is.

In overleg met de begeleidingsgroep "Wateraanvoer Noord-Limburg" is echter beloten de evaluatie van de waterconservering te beperken tot de gebieden die reeds zijn geselecteerd voor wateraanvoer. De volgende overwegingen hebben daarbij een rol gespeeld:

- Waterconservering is min of meer te beschouwen als een waterhuishoudkundige maatregel die geen ruimtelijke interactie vertoont met waterconservering elders. Dit is in tegenstelling met wateraanvoer, waarbij wel een waterverdelingsprobleem aan de orde is.
- Een gevolg hiervoor is dat gewerkt kan worden met representatieve "steekproeven", wat aansluit bij de eisen voor de provinciale planvorming voor de waterhuishouding.
- "Last but not least" de beschikbare tijd. Het in beschouwing nemen van het gehele studiegebied zou een grote inspanning hebben betekend om de gegevens te verzamelen en te bewerken.

4.2 Bodemgebruik

Uit de gegevens van de landbouwmeitelling uit 1985 is afgeleid dat in dat jaar in Noord-Limburg met uitzondering van de Maasvallei de volgende verdeling in het bodemgebruik voorkwam:

grasland	: 43%,
maïs	: 21%,
tuinbouw	: 17%, waarvan 1% glastuinbouw,
hakvruchten	: 15%,
granen	: 3%.

Als één van de uitgangspunten is gekozen, dat de rentabiliteit van wateraanvoer zou worden bepaald voor de situatie in het jaar 2000. Voor het bodemgebruik dient daarom te worden aangegeven welke veranderingen daarin zullen optreden. Voor de simulaties met SWW is dit niet van direct belang. Van belang is alleen de selectie van bodemgebruiksvormen die moeten worden doorgerekend. Op grond van de huidige en toekomstige bodemgebruikssituatie is besloten met drie gewassen te rekenen, nl. grasland, maïs, en een fictief gemiddeld vollegrondse tuinbouwgewas. De hydrologische effecten van wateraanvoer voor hakvruchten en granen worden gelijk gesteld aan die voor maïs.

4.3 Bodemfysische gegevens

De selectie van kansrijke gebieden voor wateraanvoer in paragraaf 4.2 heeft geresulteerd in een onderzoeksgebied van bijna 17 000 ha (zie kaart 7).

Vervolgens zijn van de bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000, de in het onderzoeksgebied voorkomende kaartbladen vastgesteld (zie kaart 9).

Dit betreft de Kaartbladen 52 West, 52 Oost, 58 West, en 58 Oost, die zijn opgenomen in 1960-1963, 1969-1973, 1966-1968, en 1966.

De vlakkeninformatie van de bodemkaart is in digitale vorm opgeslagen in het Bodemkundig Informatie Systeem (BIS). Van deze vier kaartbladen zijn hierna met het geografisch informatie systeem ARC/INFO de kaarteenheden (kaartvlakken) uitgesorteerd binnen het onderzoeksgebied. Per kaarteenheid zijn de volgende gegevens vastgelegd: de bodemeenheid, de grondwatertrap, en het oppervlak.

Voor de gewenste toekenning van bodemfysische eigenschappen aan de aldus uitgesorteerde bodemeenheden, is teruggegrepen naar de procedure zoals die voor agrohydrologisch onderzoek in Noord-Brabant (Van Holst et al., 1988) is gevolgd. Deze zal nu eerst kort behandeld worden, waarna vertaling volgt van de Brabantse procedure naar Noord-Limburg. Tot slot wordt het resultaat van de toekenning van bodemfysische eigenschappen beschreven.

4.3.1 Selectie-procedure Noord-Brabant

Bij dit onderzoek is voor agrohydrologische modelberekeningen de boven- en ondergrond opgebouwd uit zogenaamde bodemfysische bouwstenen. Dit zijn bodemhorizonten met bodemfysisch gelijke eigenschappen. De bovengrond (de bouwvoor) wordt vastgelegd door de dikte van deze laag, met de hierbij behorende vochtkarakteristiek en $K(h)$ -relatie. De ondergrond wordt opgebouwd door voor een aantal (ondergrond)lagen de dikte en bijbehorende bouwstenen met betrekking tot vochtkarakteristiek en $K(h)$ -relatie te definiëren.

Als basis voor de bodemfysische karakterisering fungeerde de bodemkaart, schaal 1 : 50 000, van kaartbladen in Noord-Brabant. Op alle kaartbladen is aanvullend veldwerk verricht, zowel om de GLG vast te stellen, als om de aard en de opbouw van de ondergrond te leren kennen. Hierdoor werd het mogelijk de actuele hydrologische situatie vast te stellen op de reeds jaren geleden geïnterpreteerde kaartbladen, en de ontbrekende bodemkundige gegevens dieper dan 1,20 m - mv. te verkrijgen.

Voor de bodemfysische karakterisering zijn er voor het gehele onderzoeksgebied in totaal 16 bouwstenen van bovengronden en 23 bouwstenen van ondergronden onderscheiden. Aan al deze bouwstenen zijn bodemfysische metingen verricht.

Van de vlakken-informatie opgeslagen in het Bodemkundig Informatie Systeem is gebruik gemaakt door aan elk kaartvlak een rekennummer toe te kennen. Hierbij hebben kaartvlakken met identieke bodemfysische eigenschappen hetzelfde rekennummer gekregen. Dit betekent niet dat elke kaarteenheid van de bodemkaart uniform beoordeeld is. Juist het veldwerk heeft aan het licht gebracht dat er een vrij grote verscheidenheid aan bodemfysische eigenschappen per kaarteenheid bestaat.

Aan elk rekennummer is een bodemfysische karakterisering toegekend betreffende bovengrond, ondergrondtype, alsmede de GHG en GLG.

Uit praktische overwegingen is bij latere agrohydrologische modelberekeningen in Brabant het aantal eenheden (ca. 700 rekennummers) verder teruggebracht tot 67 simulatie-eenheden. Hierbij is vooral gelet op overeenkomst in bodemfysische eigenschappen (zie Werkgroep Waterbeheer Noord-Brabant, 1990).

4.3.2 Procedure Noord-Limburg

Aangezien er in Limburg helaas geen soortgelijk aanvullend veldwerk is uitgevoerd als in Brabant, moest voor het onderzoeksgebied in Limburg worden afgeweken van de gevolgde procedure in Brabant. Om toch ook in Limburg te komen tot toekenning van simulatie-eenheden aan bodemeenheden, is besloten tot een zo goed mogelijke vertaling van Limburgse bodemeenheden naar Brabantse simulatie-eenheden. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen enkelvoudige bodemeenheden en associaties.

Enkelvoudige bodemeenheden

Allereerst zijn alle in het onderzoeksgebied voorkomende unieke combinaties van enkelvoudige bodemeenheid en grondwatertrap gesorteerd.

Vervolgens is vastgesteld aan welke simulatie-eenheden de bodemeenheden in het Limburgse onderzoeksgebied bij de Brabant-studie zijn toegekend.

Aangezien de bodemeenheden in Brabant mede in afhankelijkheid van de locale omstandigheden (het voornoemde veldwerk) per kaartvlak zijn toegedeeld aan een bepaalde simulatie-eenheid, bestaat er meestal geen eenduidige relatie tussen bodemeenheid en simulatie-eenheid: de bodemeenheden in Brabant zijn, al naar gelang de bodemfysische opbouw, veelal aan meerdere simulatie-eenheden toegekend. Zo is bijvoorbeeld de bodemeenheid cHn23 toegekend aan de simulatie-eenheid 35, 42, of 56.

Om uit de per bodemeenheid toegekende simulatie-eenheden in Brabant de voor Limburg meest geschikte te kiezen, is voor elke bodemeenheid in Limburg vastgesteld wat de kaarteenheden hierbij in Brabant waren, met de bijbehorende grondwatertrap, alsmede de oppervlakte aan landbouwgrond (excl. bos), en de kaartbladen waarop ze voorkomen. Dit heeft geresulteerd in de keuzetabel waarvan een deel als voorbeeld in tabel 1 voor enkele combinaties van bodemeenheid en grondwatertrap is weergegeven.

Tabel 1 Selectie uit de keuzetabel voor de toekenning van bodemeenheden in het Limburgse onderzoek aan de per bodemeenheid toegekende simulatie-eenheden in Brabant.

Limburg				Brabant													
Bodem- eenh.	Gt [ha]	Opp. [ha]	Simul. eenh.	Kaart- eenh.	Gt	Oppervlakte per kaartblad exclusief bos [ha]											
						440	45W	450	46W	500	51W	510	52W	57W	570	58W	TOT
						---			---			---			---		
cHn23	VI	36,0	35	72	VI	0	0	0	38	0	0	31	0	0	0	0	69
cHn23	VI	36,0	35	73	VI	0	48	0	0	40	128	82	0	0	0	0	298
cHn23	VI	36,0	42	74	VII	0	20	0	0	0	0	38	0	0	0	0	85
cHn23	VI	36,0	35	69	V	0	0	0	0	0	8	121	0	0	0	0	129
cHn23	VI	36,0	35	70	V	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	50
cHn23	VI	36,0	35	71	V*	0	269	0	0	28	168	17	0	0	0	0	482
cHn23	VI	36,0	56	821	V*	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	15
pLn5	III	0,2	21	504	III	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	40
pLn5	III	0,2	21	819	V	135	0	0	0	0	319	0	0	0	0	0	454
pLn5	III	0,2	21	859	VII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pLn5	III	0,2	21	905	VI	0	0	0	0	0	317	0	0	0	0	0	317
pLn5	V	1,5	21	504	III	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	40
pLn5	V	1,5	21	819	V	135	0	0	0	0	319	0	0	0	0	0	454
pLn5	V	1,5	21	859	VII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pLn5	V	1,5	21	905	VI	0	0	0	0	0	317	0	0	0	0	0	317

---: dicht bij het Limburgse onderzoeksgebied liggende Brabantse kaartbladen

In eerste instantie zijn al die Limburgse bodemeenheden aan een simulatie-eenheid toegekend die ook in Brabant eenduidig aan een simulatie-eenheid zijn toegedeeld.

Vervolgens zijn al die Brabantse kaarteenheden buiten de keuze-analyses geplaatst, die een grondwatertrap hebben die lager is dan de uit Limburg afkomstige combinaties:

Op grond van een agrohydrologisch onderzoek in Breehei (Van der Velde, en De Vegt, 1987), het veldwerk in Brabant, en praktijk-ervaring van het waterschap Noord-Limburg, valt af te leiden dat ontwikkelingen (ruilverkavelingen, toenemend waterverbruik) sinds de vaststelling van de grondwatertrap door STIBOKA, ertoe geleid hebben dat de grondwaterstand verlaagd is. Lagere grondwatertrappen kunnen zoveel mogelijk buiten beschouwing blijven.

Van de aldus per Limburgse combinatie resterende Brabantse kaart-eenheden is het in vrijwel alle gevallen mogelijk gebleken een simulatie-eenheid te kiezen op grond van een combinatie van de volgende criteria:

1. De overeenkomst in grondwatertrap, waarbij rekening is gehouden dat de Limburgse grondwatertrappen mogelijk wat hoger liggen (met een lagere grondwaterstand) dan in het verleden is vastgesteld;
2. Het oppervlak waarop de Brabantse kaarteenheden (en de daaruit voortvloeiende simulatie-eenheden) betrekking hebben;
3. De ligging van de Brabantse kaarteenheden ten opzichte van het Limburgse onderzoeksgebied: de kaarteenheden die op de Brabantse kaartbladen 46 West, 51 Oost, 52 West, 57 Oost, en 58 West liggen, hebben de voorkeur boven de verder van het onderzoeksgebied gelegen kaartbladen 44 Oost, 45 West, 45 Oost, 50 Oost, 51 West, en 57 West (zie kaart 9).

Na uitvoering van de keuze-methodiek bleken Limburgse kaart-eenheden nog steeds niet duidelijk aan een Brabantse simulatie-eenheid te kunnen worden toegedeeld.

Deze kaarteenheden zijn verder op bodemfysische eigenschappen geanalyseerd door van de profielbeschrijvingen bij de Limburgse kaartbladen de meest representatieve te kiezen. Hierbij is zoveel mogelijk gekozen op basis van voorkomend oppervlak per kaartblad. Deze profielbeschrijvingen zijn vervolgens vergeleken met de profielbeschrijvingen bij de nog ter keuze in aanmerking komende Brabantse simulatie-eenheden. Met overeenkomst in bodemfysische eigenschappen als selectiecriteria zijn aldus ook de laatste Limburgse bodemeenheden aan Brabantse simulatie-eenheden toegekend.

Associaties

Voor de in het onderzoeksgebied voorkomende associaties (25) is op soortgelijke wijze teruggegrepen op de Brabant-studie. Van alle associaties zijn de samenstellende delen vastgesteld. Vervolgens zijn deze toegedeeld aan een Brabantse simulatie-eenheid op grond van een bodemfysisch zo goed mogelijke overeenkomst in samenstellende delen met de in Brabant voorkomende en toegedeelde associaties (zie Werkgroep Waterbeheer Noord-Brabant, 1990).

4.3.3 Resultaten

De procedure in par. 4.3.2 heeft er toe geleid dat alle aanwezige kaarteenheden (bodemeenheden incl. grondwatertrap) in het Limburgse onderzoeksgebied zijn toegekend aan 27 (van oorsprong Brabantse) simulatie-eenheden met bodemfysische kenmerken.

In tabel 2 is voor elke aldus toegekende simulatie-eenheid het totale oppervlak in het onderzoeksgebied aangegeven. Verder is hierbij voor elke simulatie-eenheid de meest voorkomende kaart-eenheid vermeld. Tot slot is de bij de simulatie-eenheid behorende bodemfysische profielopbouw weergegeven in termen van laagdikte van de bovengrond met de bijbehorende bovengrond-bouwsteen voor de vochtkarakteristiek en de $K(h)$ -relatie, en laagdiktes van de ondergrond met de bijbehorende ondergrond-bouwstenen voor de vochtkarakteristiek en de $K(h)$ -relatie. Een voorbeeld van de betekenis van deze bouwstenen is opgenomen in aanhangsel 3.

Tot slot is het goed stil te staan bij de betrouwbaarheid van het in tabel 2 gepresenteerde resultaat. Bij modelberekeningen zijn altijd aannames en schematisaties noodzakelijk. Dit is geen bezwaar zolang het mogelijk is de gedane aannames en gemaakte schematisaties aan de werkelijkheid te toetsen. Zo is in Brabant de verdeling in bodemfysische simulatie-eenheden door veldwerk onderbouwd.

In de procedure in Limburg zitten echter de volgende, helaas niet zonder veldwerk te verifiëren aannames, besloten:

- de bodemprofielen in Limburg laten zich bodemfysisch clusteren op het kenmerk van de bodemeenheid; dit is in Brabant lang niet altijd het geval. Vermeld is reeds het willekeurige voorbeeld van de bodemeenheid cHn23 die op basis van door veldwerk verkregen bodemfysisch inzicht in de locale profielopbouw aan drie verschillende simulatie-eenheden is toegedeeld;
- de bodemprofielen laten zich in Limburg schematiseren in dezelfde clusters van bodemfysische bouwstenen als in Brabant;
- de bodemeenheden in Limburg komen overeen in bodemfysische eigenschappen met dezelfde bodemeenheden in Brabant en dan met name met die kaarteenheden van een bodemeenheid die in de buurt van Limburg liggen en die in Brabant de grootste oppervlakte hebben.

Aangezien aan de uiteindelijke verdeling in bodemfysische simulatie-eenheden dus nogal wat aannames zijn voorafgegaan die niet zonder verder veldwerk te verifiëren zijn, moeten verdere berekeningen op basis van deze verdeling dan ook met de nodige voorzichtigheid worden behandeld.

Het lijkt in dit verband zinvol analyses uit te voeren naar het belang dat de toekenning van bodemfysische clusters heeft voor de uiteindelijke hydrologische modelberekeningen. Hierop zal in hoofdstuk 8 worden teruggekomen.

Op regionale schaal is het mogelijk te veronderstellen dat de gevolgde procedure tot zinvolle hydrologische uitkomsten kan leiden, maar op het niveau van een kaartvlak moeten, omdat er geen veldwerk is verricht, de uitkomsten uiterst kritisch tege-
moet worden getreden.

Tabel 2 Overzicht van alle bodemfysische eenheden in het onderzoeksgebied met per eenheid de totale oppervlakte in het onderzoeksgebied, de meest voorkomende kaarteenheid en de bodemfysische profielopbouw.

Nummer simulatie- eenheid	Totale oppervlak [ha]	Meest voorkomende kaartenheid	Bovengrond		Opbouw ondergrond					
			Dikte [cm]	Code pF-/ K(h)- relatie	Eerste laag		Tweede laag		Derde laag	
					Diepte [cm]	Code pF-/ K(h)- relatie	Diepte [cm]	Code pF-/ K(h)- relatie	Diepte [cm]	Code pF-/ K(h)- relatie
1	873	Zd21VII	20	B2	> 20	015	> 60	09		
7	231	pZg21V	20	B4	20-	60 011	> 80	02		
12	586	Hn21EV	20	B7	20-	80 03	> 80	012		
13	2 012	Hn21VI	20	B7	20-	80 03	> 50	012		
15	466	pZn21III	20	B7	20-	50 03				
16	1 262	Hn21EVI	20	B7	> 20	03	> 80	012		
19	201	VpIII	20	B10	20-	80 022	> 80	09		
21	274	pZn23xV	20	B4	20-	80 04	> 75	09		
22	549	pZg23III	25	B4	25-	75 02	> 65	012		
23	1 344	Hn23V	25	B9	25-	65 02	> 55	08		
25	589	Hn23V/VI	25	B9	25-	55 02	> 85	09		
29	220	pZg23xIII	25	B15	25-	85 04				
31	90	Zb21VII	30	B4	> 30	03	> 80	012		
32	175	zVcIII	30	B7	30-	80 013	> 45	012		
33	261	zWzIII	30	B7	30-	45 014	> 90	012		
34	1 105	zWpIII/Hn21V	30	B7	30-	90 022	> 70	012		
35	1 302	Hn23V/pZn23V	30	B9	30-	70 02	>100	012		
37	2 789	Hn23VI	30	B9	30-	100 02	> 45	012		
38	311	vWpV	30	B10	30-	45 014				
43	3	cHn21VI	35	B7	> 35	03	60-150	02	>150	012
47	1 997	zEZ23VII	40	B3	40-	60 05	80-130	01	>130	012
48	53	bEZ23V	40	B3	40-	80 05	> 60	012		
54	14	bEZ21VII	40	B4	40-	60 07	60-160	03	>160	02
60	25	zEZ21VII	40	B4	40-	60 07	> 70	04		
62	59	bEZ23VII	40	B3	40-	70 03	60- 80	010	>80	09
64	108	EZg23III	40	B9	40-	60 05	60-100	014	>100	09
65	47	EZg23wIII	40	B9	40-	60 05				

16 946

4.4 Kwel en wegzijging

Gegeven is het uitgangspunt dat de ruimtelijke verdeling van kwel of wegzijging op een eenduidige manier is af te leiden uit de grondwatertrap (zie hoofdstuk 3). Het probleem is nu om deze relatie te kwantificeren. Daartoe is de regionale modelstudie met het model TRIWACO voor de Centrale Slenk gebruikt (IWACO, 1987).

Kort samengevat is hierbij de volgende werkwijze toegepast:

- het Centrale Slenk-gebied is gemodelleerd met 989 knooppunten en per knooppunt wordt o.a. de grondwatertrap opgegeven die volgt uit het maken van een overlay op de Gt-kaarten;
- per grondwatertrap wordt er een eenduidige relatie tussen afvoer naar het ontwateringsstelsel en grondwaterstand aangenomen (fig. 2);

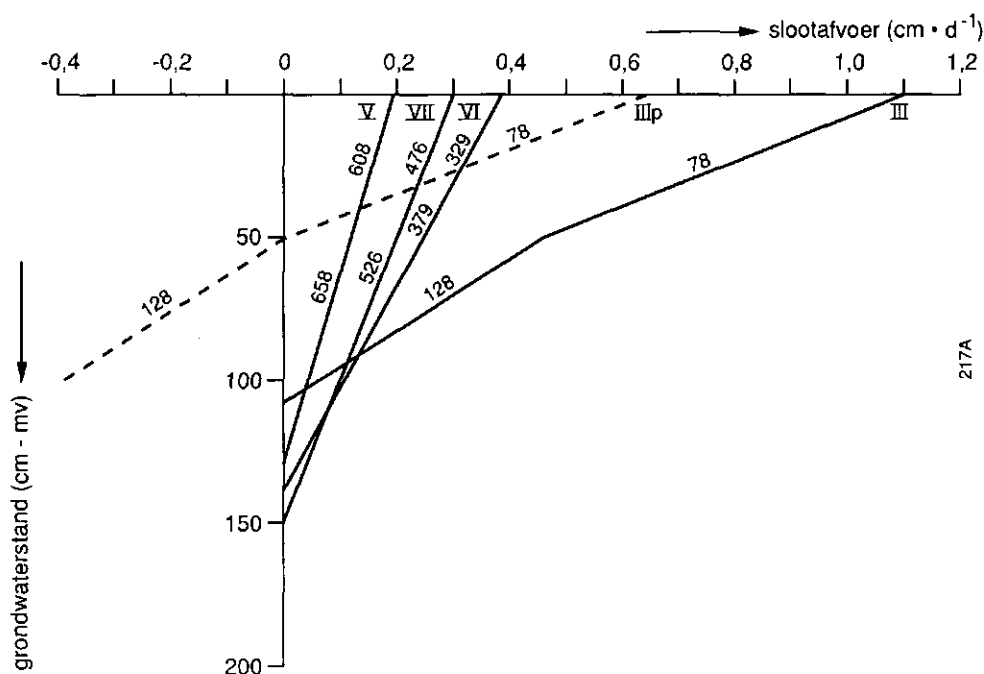


Fig. 2 Relatie tussen slootafvoer en grondwaterstand, per grondwatertrap (bron: IWACO, 1987).

- als modeluitvoer zijn o.a. per knooppunt freatische grondwaterstanden en de stroming door de 1e weerstandbiedende laag voor drie data in 1982 (15% droog jaar) beschikbaar;
 - in maart 1982, als resultaat van een stationaire berekening met een ingevoerd neerslagoverschot van $1,58 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$;
 - in juli 1982;
 - in september 1982;
- de getallenparen freatische stijghoogte en flux door de 1e weerstandbiedende laag per knooppunt en per datum zijn gegroepeerd per grondwatertrap;
- het resultaat voor grondwatertrap III* is geplott in fig. 3. De volledige resultaten staan weergegeven in tabel 3.

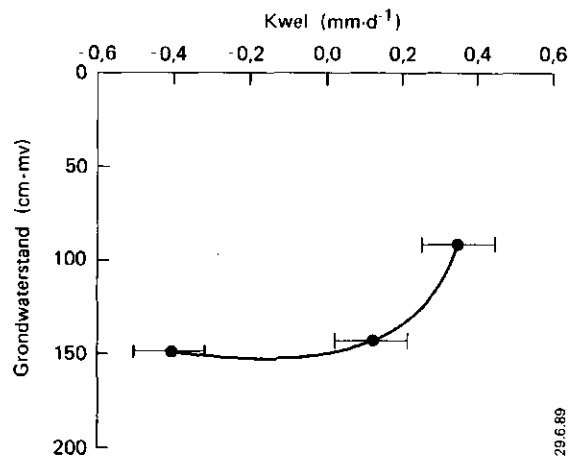


Fig. 3 Relatie tussen kwelintensiteit en grondwaterstand voor grondwatertrap III* afgeleid uit berekeningen met TRIWACO (IWACO, pers. meded.) en aanduiding van de spreiding in grondwaterstand (-•-).

Tabel 3 Relatie tussen grondwaterstand en kwelintensiteit per grondwatertrap, voor drie data, afgeleid uit berekeningen met TRIWACO voor de Centrale Slenk (IWACO, pers. med.).

Datum	Grondwatertrap								
	II	III	III*	IV	V	V*	VI	VII	VII*
15-03-1982									
gem.gr.w.st. (cm-mv)	23	85	85	59	80	84	125	174	235
stand.afw.gr.w.st. (cm)	59	45	50	50	70	75	76	107	130
gem. kwel (mm.d ⁻¹)	0,74	1,08	0,35	0,20	-0,16	-0,61	-0,16	-0,73	-1,01
09-07-1982									
gem.gr.w.st. (cm-mv)	76	129	139	118	165	174	202	277	341
stand.afw.gr.w.st. (cm)	57	57	73	73	70	84	88	119	135
gem. kwel (mm.d ⁻¹)	0,37	0,58	0,12	0,20	-0,04	-0,38	-0,22	-0,43	-0,8
17-09-1982									
gem.gr.w.st. (cm-mv)	88	142	151	126	188	200	229	313	379
stand.afw.gr.w.st. (cm)	56	62	78	78	74	93	95	125	141
gem. kwel (mm.d ⁻¹)	0,13	0,38	-0,41	-0,22	-0,41	-0,61	-0,46	-0,55	-0,6

Uit tabel 3 is allereerst te zien dat de spreiding per grondwatertrap erg groot is: een gevolg van de toch wel grove schematisaties in TRIWACO. Voor het overige vertonen de relaties per grondwatertrap een verband tussen grondwaterstand en kwel of wegzijging die overeenstemt met de veronderstelde wetmatigheden, dat natte Gt's kwel hebben en droge Gt's wegzijging, en dat deze kwel resp. wegzijging afneemt als de grondwaterstanden dieper worden.

Alhoewel de Centrale Slenk westelijk van de in het studiegebied gelegen Peelhorst en Slenk van Venlo liggen, is verondersteld dat deze geohydrologische eenheden voldoende overeenkomst hebben om de vertoonde relaties ook in het studiegebied te doen gelden. De resultaten, zoals weergegeven in tabel 3, zijn aldus gebruikt om per grondwatertrap voor elke datum in het jaar de kwel of wegzijging te bepalen door lineaire interpolatie tussen de twee dichtstbijzijnde data en de bijbehorende kwel of wegzijging uit de tabel.

4.5 De interactie tussen grond- en oppervlaktewater

De interactie tussen grond- en oppervlaktewater is een der belangrijkste parameters bij het bepalen van de effecten van wateraanvoer. Zoals reeds gesteld in hoofdstuk 3 is gekozen voor een eenduidig verband tussen de grondwatertrap en de relatie tussen grond- en oppervlaktewater. De kwantificering van deze relatie is als volgt uitgevoerd:

- De kwel van een bepaalde grondwatertrap op elk willekeurig tijdstip wordt verkregen door lineaire interpolatie tussen de (uit fig. 3 af te lezen) gemiddelde waarden van de twee dichtbijzijnde data. De aldus bepaalde waarde geldt als eerste term van de onderrandvoorwaarde van het simulatiemodel SWW (de q_a -term in verg. [1]).
- Voor de interactie tussen grond- en oppervlaktewater (de q_d -term in verg. [1] wordt een geknikte relatie aangenomen (fig. 4). Daarmee kan het ontwateringsstelsel worden geschematiseerd tot een beheersbaar secundaire stelsel en een niet-beheersbaar tertiair stelsel (Beekman en Van Bakel, 1988). De geknikte relatie wordt gedefinieerd door 4 waarden: de ontwateringsbasis stp voor het secundaire systeem, de drainageweerstand w_2 van dit systeem, de ontwateringsbasis grl van het tertiaire systeem en de drainageweerstand w_1 van dit systeem.
- Met deze kwel als deel van de onderrandvoorwaarde en beginschattingen voor de 4 parameters die de afvoer naar het ontwateringsstelsel bepalen, wordt met SWW per grondwatertrap en voor verschillende bodemeenheden de periode 1971-1986 doorgerekend.
- Van de simulatieresultaten worden de grondwaterstanden op de 14e en 28e van elke maand weggeschreven en gebruikt om de Gemiddelde Hoogste en Gemiddelde Laagste Grondwaterstand (GHG resp. GLG) te bepalen volgens de voorgeschreven procedure (Van der Sluys, 1982).
- De aldus bepaalde GHG en GLG worden vergeleken met de waarden waarbinnen de GHG en GLG mogen variëren volgens de opgegeven grondwatertrap. Indien de berekende waarden niet voldoen aan de bij de grondwatertrap behorende waarden vindt een aanpassing plaats volgens een strikt empirische, maar eenduidige procedure (Beekman, 1989).
- De - niet naar bodemeenheid onderscheiden - eindresultaten staan weergegeven in tabel 4 en fig. 5.

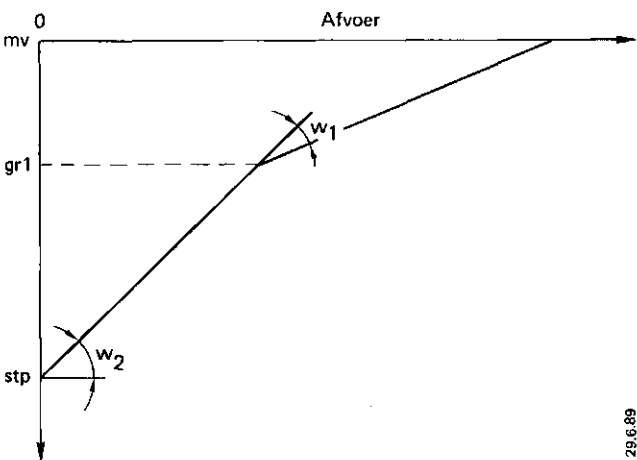


Fig. 4 De relatie tussen grondwaterstand en afvoer zo- als geschematiseerd voor berekeningen met SWW.
gr1 = ontwateringsbasis niet-beheersbaar stelsel
stp = ontwateringsbasis beheersbaar stelsel
w1 = ontwateringsweerstand niet-beheersbaar stelsel
w2 = ontwateringsweerstand beheersbaar stelsel

Tabel 4 Uit calibratie op GLG- en GHG-waarden verkregen parameters van de interactie tussen grond- en oppervlaktewater per grondwatertrap.

Parameter	Grondwatertrap							
	II	III	III*	IV	V	V*	VI	VII
gr1 (cm-mv)	-	60	-	60	60	60	-	-
stp (cm-mv)	65	120	140	130	145	125	180	180
w1 (d)	-	100	-	250	420	1000	-	-
w2 (d)	150	500	300	520	600	1300	400	500

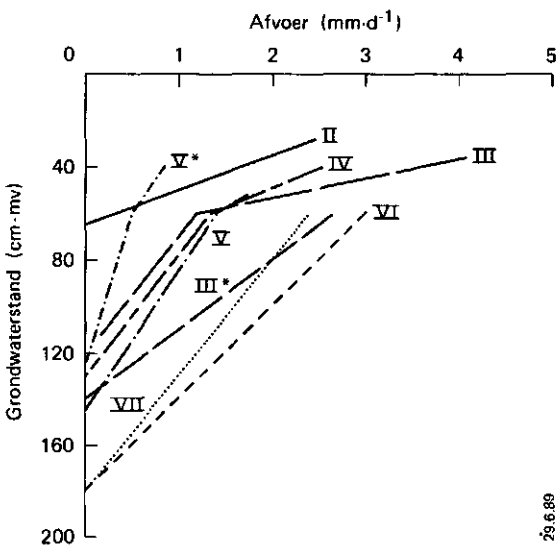


Fig. 5 Relatie tussen grondwaterstand en afvoer naar ontwateringsmiddelen, per grondwatertrap, afgeleid uit een iteratieve procedure (zie tekst).

De met deze parameterwaarden gesimuleerde grondwatertrappen wijken in sommige gevallen af van de opgegeven grondwatertrap, omdat de opgelegde GHG-en GLG-waarden niet konden worden gesimuleerd. In alle gevallen gaf dat aanleiding tot drogere gesimuleerde grondwatertrappen, wat is geaccepteerd omdat het meer in overeenstemming met de huidige hydrologische situatie is.

Bespreking van de resultaten

De relaties afgeleid uit bovenbeschreven procedure voldoen niet altijd aan de eis dat de opgelegde grondwatertrap ook wordt "gesimuleerd". De reden hiervoor is dat de opgelegde GHG en GLG-trajecten niet konden worden gesimuleerd binnen de randvoorwaarden van de bijstellingsprocedure.

Deze discrepantie moet worden beschouwd als een aanwijzing voor de onvolkomenheid van de hele procedure. Een andere indicatie hiervoor is dat de iteratieve bijstelling van genoemde 4 parameters niet éénduidig is: er zijn meerdere combinaties mogelijk die bij bepaalde opgelegde GHG- en GLG-trajecten hieraan voldoen. Vergelijking met de bij TRIWACO gebruikte relaties (fig. 2) laat zien dat deze in dezelfde orde van grootte liggen, met uitzondering van die voor Gt III*, die in TRIWACO een (veel) lagere weerstand heeft dan afgeleid uit bovenstaande procedure.

De geknikte afvoerrelatie, afgeleid uit de iteratieve procedure kan worden gebruikt voor de berekeningen, waarbij het peil in het oppervlaktewater wordt gemanipuleerd. Modelmatig is dit eenvoudig te verwezenlijken door als ontwateringsbasis het peil in het open water te nemen (in plaats van de bodemhoogtes van resp. het secundair en tertiair stelsel, mits dit peil hoger is dan de bodemhoogtes). Het kan voorkomen (en bij wateraanvoer voor peilbeheer is dat ook de opzet) dat het peil in het open waterstelsel hoger komt dan de grondwaterstand. In dat geval vindt infiltratie plaats. De daarbij behorende infiltratieweerstand wordt gelijk genomen aan de drainageweerstand. De motivering hiervoor is dat bij waterlopen die afwisselend draineren en infiltreren geen extra bodemweerstand wordt opgebouwd, omdat het water van het open water naar het grondwater stroomt (Van Bakel, 1985). Hoewel de methode in deze paragraaf is uitgevoerd in oostelijk Noord-Brabant, is gesteld dat er voldoende overeenkomst is met het studiegebied in Noord-Limburg om de bepaalde relaties te kunnen aanhouden.

4.6 Waterlopen en kunstwerken

Voor de wateraanvoer is het nodig het waterlopendsysteem op te delen in beheersbare en niet-beheersbare waterlopen. Dit is een onderscheid naar de beheersbaarheid van de open waterstand. In overleg met het waterschap zijn voor elk bestaand of nieuw inlaatgebied (voor zover als kansrijk aangemerkt) op kaart de beheersbare aangegeven. Deze waterlopen zijn vervolgens gedigitaliseerd met behulp van ARC/INFO.

Eveneens door de waterschappen zijn gegevens verstrekt over de regelmogelijkheden van de in hoogte verstelbare stuwen (de maximale) hoogte van de kruin en de laagst mogelijke kruinhoogte (drempelhoogte). Deze gegevens zijn verstrekt per inlaatgebied, daar het niet zinvol werd geacht eventueel aanwezige verschillen in regelmogelijkheid binnen een inlaatgebied in de modelberekeningen mee te nemen. Als gegeven op kaart werden de locaties van inlaatwerken en gemalen verstrekt, die ook werden gedigitaliseerd. Belangrijk is om te vermelden dat ook gegevens werden verstrekt omtrent de huidige (anno 1988) aanwezige capaciteit van inlaat van Maaswater. Om rekentechnische en andere logistieke redenen zijn echter alleen de effecten van twee niveaus van inlaatcapaciteit doorgerekend: nl. $1/6$ en $1/3 \text{ l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$.

4.7 Hoogte van het maaiveld

De berekeningen van de effecten van wateraanvoer zijn gekoppeld aan de grondwatertrap. Met die procedure zijn de verschillen in maaiveldshoogteligging meegenomen door per grondwatertrap het niveau van het maaiveld ten opzichte van het open waterpeil te variëren. Stel bijvoorbeeld dat het waterschap opgeeft dat voor een bepaald inlaatgebied het zomerpeil 0,90 m-mv is en het winterpeil 1,20 m - mv. Dit peil wordt verondersteld betrekking te hebben op de gemiddelde maaiveldshoogte van een inlaatgebied, waarvan wordt aangenomen dat daar grondwatertrap V voorkomt. De maaiveldshoogten van de andere grondwatertrappen t.o.v. winterpeil zijn hoger of lager en wel als volgt:

Gt III	:	1,00 m	t.o.v.	winterpeil
Gt V	:	1,20 m	t.o.v.	winterpeil
Gt VI	:	1,40 m	t.o.v.	winterpeil
Gt VII	:	1,50 m	t.o.v.	winterpeil.

4.8 Geografische gegevens

Bij regionale studies moet altijd worden gewerkt met geografische (d.w.z. aan plaats gebonden) informatie op verschillende kaarten (niveaus). In deze studie is dit ook het geval. Zo moet bijv. de informatie op de bodemkaarten worden gecombineerd met informatie omtrent de ligging van inlaatgebieden. Aan de keuze van een Geografisch Informatie Systeem (GIS) is dan ook in de aanvangsfase veel aandacht gegeven. Gelet op de centrale rol die de informatie op de bodem- en Gt-kaarten speelt bij de bepaling van de effecten van wateraanvoer is gekozen voor ARC/INFO. Dit GIS-systeem kwam najaar 1986 bij zowel STIBOKA als ICW voor gezamenlijk gebruik beschikbaar. Het ARC/INFO-systeem werkt vnl. met informatie opgeslagen als veelhoeken (polygonen) en is daardoor geschikt voor bewerking van vlakinformatie (zoals de informatie op de bodemkaart). Met name de mogelijkheid om dwarsdoorsneden (overlays) te maken van informatie is een zeer krachtig hulpmiddel bij het verwerken van geografische gebonden gegevens. Een

ander groot voordeel is dat zowel invoer als rekenresultaten op elke willekeurige schaal kunnen worden weergegeven, wat erg waardevol is bij presentatie.

Uiteraard zijn er ook nadelen in de vorm van arbeidsintensieve digitaliseringswerkzaamheden, de benodigde expertise om met het ARC/INFO-systeem te kunnen omgaan, en de neiging geografisch te gedetailleerd te werk te gaan, waardoor een onevenwichtigheid kan ontstaan tussen kennis van de werkelijkheid en de hoeveelheid te verwerken informatie. Voor een uitgebreide beschrijving van de be- en verwerking van gegevens wordt verwezen naar Van der Voet (i.v.).

4.9 Simulatie-eenheden

Een simulatie-eenheid is in deze studie gedefinieerd als een kaartvlak dat uniek is in de combinatie van bodemfysische eigenschappen, hydrologische eigenschappen en gewas, en dat gelegen is binnen de voor wateraanvoer kansrijke gebieden. De samenstellende delen van deze doorsnee verzameling zijn in de vorige paragrafen aan de orde geweest. Met het ARC/INFO-systeem is de combinatie uitgevoerd. Dit leverde als resultaat de volgende eenheden:

"Laag"	Eigenschap	Aantal	Aantal bij combinatie met vorige
1	bodemfysisch eigenschappen	27	27
2	grondwatertrap	12 (II t/m VII)	55
3	gewas	3 (gras, maïs en vollegronds-tuinbouw)	165

Hieruit is af te leiden dat bepaalde in theorie mogelijke combinaties van bodemfysische eigenschappen en grondwatertrap niet voorkomen. Immers het maximaal mogelijke aantal bij combinatie van "laag" 1, "laag" 2 en "laag" 3 is $27 \times 12 \times 3 = 972$.

In eerste instantie is gepoogd ook bepaalde combinaties van grondwatertrap en gewas uit te sluiten. Gedacht is hierbij aan maïs op grondwatertrap III. Maar omdat maïs onderdeel uitmaakt van het bedrijfsplan van veehouderijbedrijven, is vanuit landbouwzijde gesteld dat maïs ook wordt verbouwd op "natte" grondwatertrappen. Daarom is er vanaf gezien dit verband te leggen. Per simulatie-eenheid kunnen berekeningen worden uitgevoerd door specificatie van meteorologische randvoorwaarden en een definiëring van de verschillende vormen van oppervlaktewaterbeheer en van berekening uit oppervlaktewater.

4.10 Meteorologische gegevens

Voor de berekeningen met SWW zijn als bovenrandvoorwaarde gegevens nodig van de volgende in het gebied gemeten meteorologische grootheden, op dagbasis:

- neerslag;
 - globale straling;
 - temperatuur;
- eventueel aangevuld met:
- relatieve luchtvochtigheid;
 - windsnelheid.

Idealiter dient hiervan een aaneengesloten reeks van minimaal 30 jaar beschikbaar te zijn. Voor het studiegebied is zo'n reeks niet beschikbaar. Combinatie van de meteostations Gemert en Eindhoven leverde een reeks op van 1971 t/m 1986. Door Silva (1988b) is deze reeks nader geanalyseerd wat betreft representativiteit voor neerslagtekort, droogteschade en beregeningsgift. Het maximale neerslagtekort gedurende de maanden april t/m september (berekend als de maximale toename van $0,8 E_0$ (E_0 = open waterverdamming) verminderd met de bruto neerslag), gemiddeld over deze jaren bedraagt 157 mm. Voor de periode 1930-1986 is dat 148 mm, wat een aanwijzing is dat de periode 1971-1986 redelijk representatief is voor een langere periode. De frequentieverdeling van het neerslagtekort van de periode 1930-1986, staat weergegeven in fig. 6a. De jaren 1971-1986 zijn apart weergegeven, wat een goede indruk oplevert van het percentage-droog jaar van de afzonderlijke jaren. Op grond hiervan is te stellen dat 1983 goed als een 10%-droog jaar kan worden aangemerkt. Eenzelfde type analyse is gedaan voor de droogteschades en de beregeningsgiften die met het hydrologisch model DEMGEN voor de jaren 1930-1986 worden berekend voor een profiel dat veel in midden en oostelijk Noord-Brabant voorkomt. De frequentie-overzichten staan eveneens in fig. 6b en 6c. Daaruit blijkt dat droogteschade, beregeningsgift en maximaal neerslagtekort voor de afzonderlijke jaren een hoge correlatie vertonen. De algemene conclusie is dan ook dat de periode 1971-1986 een goede afspiegeling vormt van de variatie in klimatologische omstandigheden in het studiegebied, dat 1983 en 1976 kunnen worden beschouwd als 10%- resp. 2%-droge jaren en dat voor een 50% kan worden gekozen uit de jaren 1971, 1974 en 1977. Als bovenrandvoorwaarde voor de SWW-berekeningen is daarom gebruik gemaakt van de reeks Gemert/Eindhoven over de periode 1971-1986.

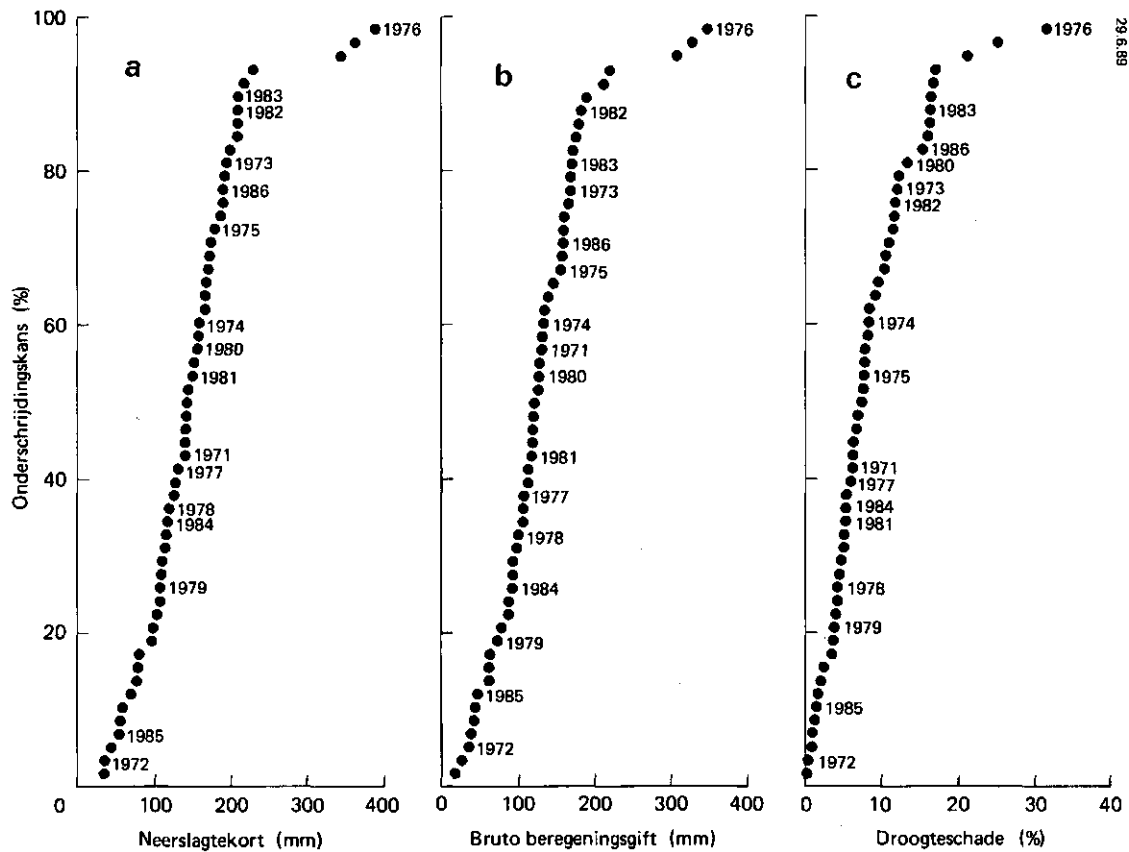


Fig. 6 Frequentieverdelingen van de maximale toename van het cumulatief neerslagtekort gedurende het goeiseizoen (a), de jaarlijkse beregeningshoeveelheid, berekend met DEMGEN voor grasland op een podzolprofiel (b) en de berekende procentuele droogteschade zonder berekening voor dezelfde situatie (c), voor de periode 1930-1986. De jaren 1971-1986 zijn apart weergegeven.

4.11 Oppervlaktewaterbeheer en beregening

Vormen van oppervlaktewaterbeheer

Door het programma SWW zijn vier vormen van oppervlaktewaterbeheer te simuleren:

- Een situatie van afwezigheid van beheersbare kunstwerken. Er vindt alleen afvoer plaats als het open waterpeil zich boven de drempelhoogte van vaste stuwten of bodemvallen of boven de slootbodemoogte bevindt. Aanvoer van water vindt nooit plaats. Deze situatie wordt aangeduid als vrije drainage.
- Een situatie waarin het peil van het open water instelbaar is binnen zekere grenzen, met als doel drainage te verminderen of te stimuleren; aanvoer van water vindt niet plaats. De aanduiding voor deze vorm van peilbeheer is conservering.

- c. Dezelfde situatie als bij conservering, echter nu is het mogelijk water aan te voeren om een gewenst peil te handhaven. De maximale (op te geven) aanvoercapaciteit kan daarbij nooit worden overschreden. Deze situatie wordt aangeduid als aanvoer voor subinfiltratie.
- d. Berekening uit oppervlaktewater. Voor deze situatie is het open waterbeheer gelijk aan dat bij wateraanvoer voor subinfiltratie, met als extra beperking dat er altijd minimaal 30 cm waterdiepte in het secundair aanvoersysteem moet zijn.

Bepaling van het streefpeil

Bij simulatie van de beheersalternatieven b. t/m d. wordt door het model het meest gewenste peil op elk moment in het jaar (het zgn. streefpeil) vastgesteld met beheersregels die het streefpeil afhankelijk maken van de grondwaterstand en de vochtvoorraad in de wortelzone. Daartoe is het traject tussen winter- en zomerpeil gesteld op maximaal 50 cm en worden 8 fasen onderscheiden met onderlinge verschillen in peil van 10 cm of 0 cm. Het maximale verschil van 50 cm geldt voor de grondwatertrappen V, VI, en VII. Voor Gt II wordt geen verschil aangenomen, en voor Gt III 40 cm.

Beginnend met winterpeil kan elke volgende fase pas worden ingesteld als de gesimuleerde grondwaterstand beneden een bepaalde grondwaterstand is gedaald (zie tabel 5). Deze tabel geldt voor grasland. Voor maïs wordt aangenomen dat de eisen aan de grondwaterstand wat stenger moeten worden genomen. Modelmatig is dit geëffectueerd door de eisen aan de grondwaterstand met 5 cm te verhogen.

Tabel 5 Aangebrachte koppeling tussen streefpeil (ingedeeld in fasen) en grondwaterstand in het model SWW, indien het verschil tussen zomer- en winterpeil 50 cm bedraagt (WP = winterpeil).

	Streefpeil (cm - mv.)					
	WP	WP+10 cm	WP+20 cm	WP+30 cm	WP+40 cm	WP+50 cm
Fase	1 en 2	3	4	5	6	7 en 8
Grondwaterstand (cm - mv.)		> 80	> 85	> 90	> 95	> 100

Voor het instellen van de hoogste stuwpeilen worden ook eisen gesteld aan de vochtvoorraad in de wortelzone. Beginnend met fase 6 kan elke volgende fase pas worden ingesteld als het verschil tussen vochtvoorraad van de wortelzone bij veldcapaciteit ($pF = 2,0$) en de actuele vochtvoorraad groter is dan een bepaalde waarde (zie tabel 6).

Bij deze tabellen is er geen onderscheid gemaakt tussen de verschillende grondwatertrappen wat betreft de eisen aan de grondwaterstand of de vochtvoorraad. Het gevolg is dat de nattere Gt's over het algemeen veel later in het seizoen beginnen met het opzetten van het peil en dat daardoor in principe alle extra wateroverlast door het opzetten wordt vermeden. In de praktijk

Tabel 6 Aangebrachte koppeling tussen streefpeil (ingedeeld in fasen) en vochtvoorraad in de wortelzone bij een maximaal verschil tussen zomer- en winterpeil van 50 cm (WP = winterpeil).

	Streefpeil (cm - mv.)	
	WP + 40 cm	WP + 50 cm
Fase	6	7 en 8
Vershil vochtvoorraad wortelzone bij pF = 2,0 en actuele voorraad (mm)	20	30

kan dit maar ten dele worden gerealiseerd, omdat in elk peilvak meerdere grondwatertrappen voorkomen. De afstemming tussen peil en grondwaterstanden vindt dan meer plaats op basis van één (of meerdere), representatief geachte, grondwaterstanden. Modelmatig wordt subinfiltratie dus te gunstig voorgesteld. Naast de eisen aan grondwaterstanden en vochtvoorraad moeten de verschillende karakteristieke tijdstippen (bijv. wanneer wateraanvoer mogelijk is) worden gespecificeerd.

De belangrijkste tijdstippen voor de studie zijn als volgt gespecificeerd:

- vroegste tijdstip voor wateraanvoer : 1 mei;
- laatste tijdstip voor wateraanvoer : 15 september;
- laatste tijdstip voor bereiken winterpeil: 1 oktober.

Berekening

Berekening uit oppervlaktewater is gebonden aan een aantal criteria en randvoorwaarden. Voor grasland en akkerbouwgewassen, resp. vollegrondstuinbouw zijn dat:

- beregeningscyclus 7 dagen, resp. 3 dagen;
- pF-waarden voor toestaan beregening 2,5 resp. 2.0;
- bruto-gift 30 mm, resp. 15 mm;
- beregeningsverliezen 15%.

Er wordt van uitgegaan dat maïs niet wordt beregend, en geen berekening plaatsvindt als de neerslag op de betreffende dag groter is dan 10 mm (arbitrair). In verband met het gelijktijdig kunnen optreden van infiltratie en beregening uit oppervlaktewater moet de waterdiepte in het secundair stelsel bij beregening uit oppervlaktewater minimaal 30 cm bedragen.

5 BEPALING VAN KOSTEN EN BATEN

De vraag of (uitbreiding van) wateraanvoer rendabel is, kan alleen worden beantwoord als bekend is welke extra baten wateraanvoer oplevert en welke extra kosten moeten worden gemaakt om de bestaande situatie te handhaven of om de extra wateraanvoer te realiseren. Over het algemeen hangt de bepaling van deze extra kosten en baten af van de gekozen uitgangspunten. Bijvoorbeeld moeten op voorhand afspraken worden gemaakt over termijnen, waarin infrastructurele werken worden afgeschreven en welk rentepercentage wordt gehanteerd. De uitgangspunten in dit verband worden in par. 5.1 behandeld. De daaruit voortvloeiende methodiek van verzameling en bepaling van kosten en baten komt aan de orde in par. 5.2 resp. par. 5.3.

5.1 Uitgangspunten

De uitgangspunten voor de bepaling van rentabiliteit van wateraanvoer zijn de volgende:

- a. De extra kosten en extra baten van (uitbreiding van) wateraanvoer worden bepaald uitgaande van een maatschappelijk-economische benadering. Wat daarmee wordt bedoeld en waarom dit uitgangspunt is gekozen wordt duidelijk aan de hand van de volgende beschouwing.

Een agrarische ondernemer, een Waterschap, de Centrale Landinrichtings Commissie (CLC), een Provincie of het Rijk nemen beslissingen over investeringen op het gebied van waterhuishoudkundige ingrepen. De beslissingen worden genomen op grond van een afweging tussen kosten en baten. Essentieel is dus wat tot de kosten wordt gerekend en wat als baten wordt gezien. Zo zijn voor een agrarische ondernemer subsidies inkomsten en de af te dragen BTW kosten. De ondernemer handelt vanuit een micro-economisch gezichtspunt met de marktprijzen als richtsnoer.

Ook voor een Waterschap geldt de micro-economische zienswijze; ontvangen subsidies zijn inkomsten, betaalde subsidies zijn kosten. Voor een gedeelte geldt echter, bijv. bij landinrichtingsprojecten, dat bepaalde investeringbeslissingen afhangen van de infrastructuur die door de Landinrichtingsdienst (LD) of door de Provincie wordt bepaald. De beoordeling van landinrichtingsprojecten bij de LD vindt plaats overeenkomstig de (maatschappelijk-economisch opgezette) "HELP-procedure". Het maatschappelijk-economisch uitgangspunt wil zeggen dat hierbij het maatschappelijk (nationale) beslag op de produktiefactoren (kapitaalgoederen, arbeid en grond) het criterium is. In de kosten (en baten) worden dan ook de kosten (en baten) van de (gehele) overheid begrepen, want ook hiermee wordt beslag op de produktiefactoren gelegd.

In dit kader zijn subsidies door de overheid "overdrachten" van geld. De maatschappelijke kosten worden hierdoor niet beïnvloed. Er is alleen een verschil wiens budget wordt belast. In deze studie wordt er van uit gegaan dat de beslissingen van de Provincie mede afhankelijk zijn van die van de Landinrichtingsdienst en de Rijkswaterstaat. Ondermeer wat het verschaffen van het benodigde water betreft hanteren beide diensten het maatschappelijke gezichtspunt.

- b. Als uitgangssituatie voor de reeds aanwezige infrastructuur wordt genomen de in 1988 bestaande situatie, inclusief de infrastructuur die nog niet daadwerkelijk is gerealiseerd, maar waartoe wel reeds een beslissing is genomen.
- c. De kosten worden berekend voor een gemiddeld jaar. Omdat het jaar 2000 het peiljaar is in deze studie, worden de kosten herleid tot kosten in het jaar 2000. Dit houdt in dat eenmalige investeringen, die bijv. worden gedaan in 1995, worden herleid tot (gem.) jaarlijkse vaste kosten. De landbouwkundige situatie betreft het bouwplan, het procentueel aandeel van landbouwgronden het totale oppervlak cultuurgrond en de prijzen. Deze situatie verandert gestaag. Omdat factoren erg belangrijk zijn in de bepaling van de baten, heeft het Landbouw Economisch Instituut (LEI) een op het studiegebied toegesneden analyse van het jaar 2000 uitgebracht (Kortekaas e.a., 1988). Voor een nadere motivering omtrent de keuze voor berekening van de kosten en opbrengsten wordt verwezen naar Slothouwer (1989).
- d. De vergoeding voor het verschaffen van kapitaal (de zgn. interestvoet) is gesteld op 5%. Dit percentage is vergelijkbaar met de marktrente verminderd met het inflatiepercentage (de zgn. reële rente). Het percentage van 5 wordt momenteel vrij algemeen aangehouden voor projecten waaraan weinig economische risico's zijn verbonden. Eén van die risico's in dit verband is dat in de toekomst de prijzen van landbouwprodukten zullen dalen. Omdat daarmee expliciet rekening wordt gehouden is de keuze voor 5% verantwoord.
- e. De berekening van de rentabiliteit van wateraanvoer geschiedt voor twee niveaus van de maximale wateraanvoercapaciteit per deelgebied ($1/6$ en $1/3 \text{ l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$). Het eerste niveau is toereikend voor wateraanvoer voor subinfiltratie; het tweede niveau is alleen van belang als ook berekening uit oppervlaktewater plaatsvindt. Dit houdt dus niet in dat voor het studiegebied als geheel de aanvoercapaciteit wordt berekend op $6/1$ of $3/1 \text{ l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$. Door samenvoeging van deelgebieden kan praktisch gezien elke aanvoercapaciteit worden berekend. Ook is een berekening uitgevoerd voor conservering t.o.v. de bestaande situatie in 1988.

5.2 Kosten

5.2.1 Waterschapsniveau

Een belangrijk selectiecriteria voor de bepaling van kansrijke gebieden is de grens van f 1000,- per ha aan benodigde investeringen op waterschapsniveau. Aangezien de investeringen niet op voorhand bekend zijn (omdat deze nu juist moeten worden bepaald) zou het gehele studiegebied in beschouwing moeten worden genomen. Om dit te vermijden is in overleg met het waterschap Noord-Limburg een voorselectie gemaakt van deelgebieden waarvan redelijkerwijs kan worden gesteld dat wateraanvoer tot de mogelijkheden behoort. De hierna volgende beschrijving van bepaling van kosten en opbrengsten heeft hierop betrekking.

Als kosten (in guldens van 1985) van (uitbreiding van) wateraanvoer zijn aangemerkt:

- a. Kosten van investeringen voor wateraanvoer (vaste kosten).
Het kan in dit verband betreffen:
 - nieuwe koppelleidingen en aanpassen van leidingen;
 - grondaankopen;
 - gemalen;
 - stuwen, verdeelwerken, inlaten;
 - duikers, doorpersingen, dammen.
- b. Kosten van exploitatie, bestaande uit jaarlijkse kosten van bediening en onderhoud van infrastructurele werken die t.b.v. de wateraanvoer zijn gerealiseerd (incl. groot onderhoud) en de extra onderhoudskosten van waterlopen die een functie vervullen bij de wateraanvoer.

Door het waterschap Noord-Limburg zijn gegevens verstrekt over benodigde infrastructurele werken en lengtes aan watergangen die bij de waterschappen in onderhoud zijn, per deelgebied. Om een zekere uniformiteit met het onderzoek in midden- en oostelijk Noord-Brabant te realiseren zijn, in overleg met de Landinrichtingsdienst, normbedragen vastgesteld. Deze gelden per deelgebied voor de jaarlijkse vaste en variabele kosten (exploitatiekosten) die met de wateraanvoer of voor de conservering verbonden zijn. Tabel 7 geeft hiervan het resultaat. In de tabel staan alleen de gebieden die op basis van de opgegeven selectiecriteria en in overleg met de provincie en met de waterschap als kansrijk voor wateraanvoer zijn aangemerkt. Voor de daarbij gehanteerde bedragen e.d. wordt verwezen naar Slothouwer (1989). De situering van de deelgebieden wordt gegeven in kaart 7.

Een apart punt vormen de extra kosten van wateraanvoer op bedrijfsniveau. Een belangrijk uitgangspunt in dit verband is dat wateraanvoer voor subinfiltratie geen extra kosten meebrengt voor de agrariër, omdat is aangenomen dat de "eigen" waterlopen voor de afvoer zodanig worden onderhouden, dat subinfiltratie hieruit mogelijk is. In het algemeen echter zullen de waterlopen onvoldoende diep zijn om wateraanvoer op bedrijfsniveau mogelijk te maken.

Uit andere onderzoeken (Slothouwer, 1982) is afgeleid dat de extra verwerkingskosten van de gerealiseerde meeropbrengst door

wateraanvoer slechts enkele procenten van de bruto meeropbrengst uitmaken. Een dergelijke redenering is niet op te zetten voor berekening (in vergelijking met een situatie zonder berekening).

In een recente studie (Werkgroep Aktualisering Waterbehoefte Land- en Tuinbouw, 1988) is gesteld dat de kosten van berekening op grasland in vrijwel alle jaren en op vrijwel alle gronden voor het bedrijf hogere kosten dan baten tot gevolg heeft, nog afgezien van de kosten die gepaard gaan met het realiseren van aanvoer ten behoeve van die berekening.

Tabel 7 Overzicht van de vaste en variabele kosten in guldens van 1985 per jaar bij verschillende wateraanvoersituaties op waterschapsniveau. De kosten zijn EXCLUSIEF B.T.W. en SUBSIDIES*.

Plan	Opp. (ha)	Kosten conservering (gld)			Kosten aanvoer 1/6 l.s ⁻¹ .ha ⁻¹			Kosten aanvoer 1/3 l.s ⁻¹ .ha ⁻¹		
		vast	var.	totaal	vast	var.	totaal	vast	var.	totaal
Noord Limburg (bestaande gebieden)										
Everl. beek	4 845	-	12 110	12 110	-	13 280	13 280	-	-	-
Evertsoord	1 925	-	4 810	4 810	-	6 660	6 660	-	-	-
Helenaveen	431	-	1 080	1 080	-	1 220	1 220	-	-	-
Lollebeek	4 967	-	12 420	12 420	-	21 850	21 850	-	-	-
Loobeek	994	-	2 490	2 490	-	2 900	2 900	-	-	-
Vredepeel	561	-	1 400	1 400	-	2 170	2 170	-	-	-
Totaal	13 723		34 310	34 310		48 080	48 080			
Noord Limburg (uitbreiding)										
Boddebroek	656	4 880	750	5 630	32 210	12 670	44 880	-	-	-
Heidse Peel	398	4 880	750	5 630	30 520	11 410	41 930	-	-	-
Spiesberg	428	1 630	250	1 880	15 690	5 670	21 360	1400	670	2070
Tasbeek	549	10 080	1500	11 580	21 350	7 530	28 880	3170	1580	4750
Zwart Water	80	-	200	200	2 040	460	2 500	-	-	-
Totaal	2111	21 470	3450	24 920	101 810	37 740	139 550	4570	2250	6820

*De kosten hebben betrekking op de extra kosten t.o.v. een lager voorzieningen-niveau:

- de kosten voor conservering zijn de extra kosten voor de toestand in 1985 (excl. conserveren) in het gebied;
- de kosten van aanvoer van 1/6 l.s⁻¹.ha⁻¹ zijn de extra kosten t.o.v. conservering;
- de kosten van aanvoer van 1/3 l.s⁻¹.ha⁻¹ zijn de extra kosten t.o.v. aanvoer 1/6 l.s⁻¹.ha⁻¹.

5.2.2 Primaire stelsel

In de vorige paragraaf zijn de kosten behandeld van (uitbreiding van) wateraanvoer die per deelgebied kunnen worden vastgesteld. In deze paragraaf komen aan de orde de kosten van wateraanvoer die gelden voor meer dan één deelgebied. Dit betekent niet dat deze kosten altijd betrekking hebben op Rijkswateren.

De Peelkanalen zijn te beschouwen als onderdeel van het primaire stelsel terwijl ze in het beheer zijn bij waterschappen. Voor de Rijkswateren zijn de vaste en operationele kosten voor alternatieven voor de aanvoersituatie in het jaar 2000 door DBW/RIZA geïnventariseerd (Silva, 1988a). Hierna volgende zal dan ook een splitsing worden gemaakt tussen het primaire stelsel in beheer bij RWS en de Peelkanalen.

5.2.2.1 Wateraanvoer exclusief de Peelkanalen in 2000

Als kosten worden aangemerkt de extra kosten (t.o.v. de autonome ontwikkeling) voor werken aan de kanalen voor wateraanvoer voor de landbouw. Voor conservering is geen extra wateraanvoer nodig. De extra kosten hebben betrekking op het eerder gereed komen van werken of op een gewijzigde uitvoering. Geen kosten worden toegerekend aan werken die toch al zijn uitgevoerd in 2000. Evenals bij de andere kosten en baten is ook hier de peildatum van de voorzieningen het jaar 2000. Aangenomen is dat deze voorzieningen gedurende 30 jaar meegaan zonder grote aanpassingen. De totale kosten over deze 30 jaar zijn omgerekend op gelijke bedragen per jaar (Slothouwer, 1990). In het volgende overzicht zijn de Noord-Brabantse en Limburgse kanalen die moeten worden aangepast opgenomen:

- (1) De Zuid-Willemsvaart (ZWV) van de Maas tot aan Veghel in de jaren negentig (exclusief omlegging Den Bosch);
- (2) De omlegging Helmond na 1995;
- (3) De Zuid-Willemsvaart (Lozen-Nederweert) rond 2000 en het kanaal Wessem-Nederweert, ook rond 2000.

Er kunnen drie situaties worden onderscheiden, te weten:

- context 1985 : Beleid en infrastructuur 1985.
- context 2000 : Huidig en voorgenomen beleid en gerealiseerde infrastructuur in 2000.
- varianten op context 2000: Als context 2000 met een mogelijk andere infrastructuur door uitvoering van één of meerdere maatregelen.

De situatie "context 1985" betreft het beleid en de structuur in 1985. Deze werken zijn reeds uitgevoerd. Er zijn dus geen extra kosten voor de wateraanvoer aan verbonden, behalve de variabele kosten.

De verruiming van de Zuid-Willemsvaart (1), de omlegging bij Helmond (2) en de aanleg van de geplande kunstwerken in de Zuid-Willemsvaart en het kanaal Wessem-Nederweert (nieuwe sluis Panheel en een groter gemaal Panheel, capaciteit $6,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) voor zover in het belang van de landbouw, is in 2000 gerealiseerd. Ook een uitvoering van "context 2000" leidt niet tot extra kosten voor de wateraanvoer. De extra energiekosten voor het gemaal Panheel komen wel voor rekening van de landbouw: f 40,- per $\text{m}^3 \cdot \text{uur}^{-1}$ (1,1 cent per m^3). De extra energiekosten voor het gemaal bij Oosterhout komen op f 25,- per $\text{m}^3 \cdot \text{uur}^{-1}$. Deze bedragen zijn inclusief BTW.

Ten opzichte van de situatie "context 2000" kunnen vier maatregelen worden overwogen om de beschikbaarheid van Maaswater voor de landbouw te vergroten.

De benodigde investeringen bedragen (excl. variabele kosten, incl. BTW):

1. Vergroting capaciteit gemaal bij Panheel (t.o.v. $6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) en incl. renovatiekosten spuiduiker Panheel

per extra $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	f 1 500 000
--	-------------
2. Vergroting doorvoercapaciteit van ZWV naar Noordervaart van (duiker en voedingskanaal)

gereed in 2000	per extra $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	f 585 000
gereed in 2005	per extra $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	f 415 000
3. Vergroting doorvoercapaciteit van ZWV

gereed in 2000	per extra $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	f 750 000
----------------	--	-----------
4. Vergroting capaciteit van het gemaal/inlaat bij Oosterhout in het Wilhelmina-kanaal tot max. $2,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (inkl. extra voorzieningen)

gereed in 2000	per extra $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	f 1 950 000
----------------	--	-------------

Met dezelfde uitgangspunten als bij de vaststelling van de jaarlijkse kosten op waterschapsniveau, leiden deze bedragen tot de volgende kostentabel.

Tabel 8 Vaste en variabele kosten per jaar (in guldens van 1985).

Maat- regel nr.	Kosten ten opzichte van de autonome situatie (contexten 1985 en 2000)					
	totaal		kosten per jaar			
	bedrag v.d. investering per $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$		beslag op prod.fact. kapitaal		totaal per $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	
			waarde- daling à 5%		incl. BTW	excl. BTW
1	1 500 000		75 000	22 500	152 500	128 692
2	585 000		29 250	8 775	43 875	37 025
	415 000		20 750	6 225	31 125	26 266
3	750 000		37 500	11 250	56 250	47 468
4	1 950 000		97 500	29 250	171 250	144 515

De onderhoudskosten (variabele kosten) zijn, evenals bij de overige kunstwerken, op 1% per jaar gesteld. De BTW is 18,5%. Voor het gemaal bij Panheel (1) en bij Oosterhout (4) is voor exploitatie ook 1% gerekend (excl. energie). Dit in tegenstelling tot de norm van 2% voor (kleinere) gemalen. De energiekosten voor Panheel zijn geschat op f 40 000,- per $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ per jaar; de (lagere) energiekosten voor Oosterhout zijn geschat op f 25 000,- per $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ per jaar.

5.2.2.2 Wateraanvoer via de Peelkanalen

Indien een wateraanvoer van 1/6 liter per seconde per ha voor de kansrijke gebieden in Noord-Brabant en Noord-Limburg nodig is blijkt de huidige capaciteit van de Peelkanalen te gering. In fig. 7 is de huidige resp. de situatie in het jaar 2000 weergegeven.

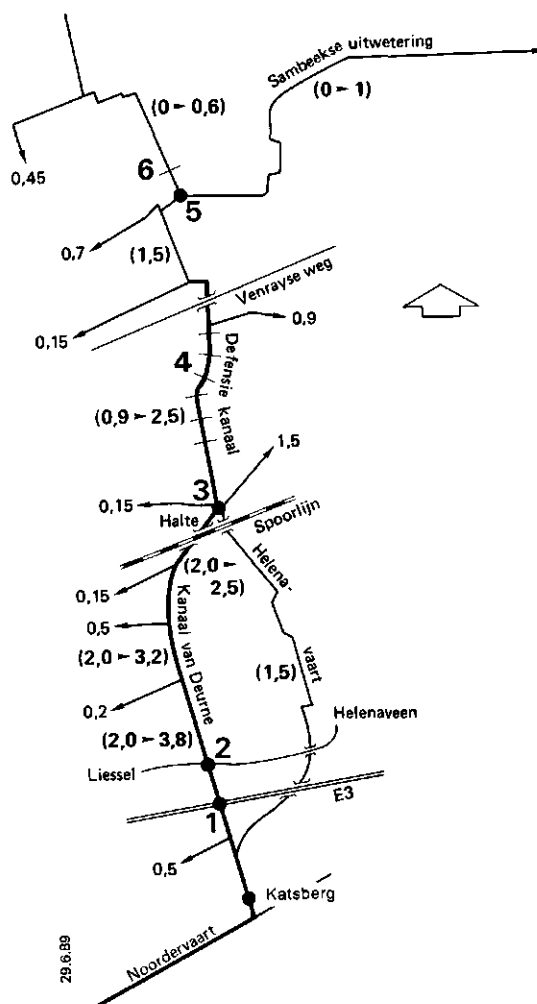


Fig. 7 Aanduiding van locaties waar door aanpassing in de infrastructuur de aanvoercapaciteit van de Peelkanalen wordt vergroot tot de tussen haakjes aangegeven waarde (in $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

De capaciteit in het Kanaal van Deurne kan door technische ingrepen tot een waarde van maximaal $3,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ worden opgevoerd. Wanneer de capaciteit van het Kanaal van Deurne tot deze maximale waarde wordt opgevoerd, dient ook het Defensiekanaal te worden aangepast. De huidige maximale capaciteit in de Helenavaart wordt geschat op ongeveer $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. De capaciteit van de Helenavaart wordt in de studie als een vast gegeven verondersteld.

De kosten voor de investeringen in de Peelkanalen om de wateraanvoer te vergroten tot de capaciteit zoals in fig. 7 is aangegeven, zijn in overleg met het waterschap De Aa, per aanpassing geschat. De bedragen, in guldens van 1985, (excl. BTW en subsidies) zijn:

1. Een duiker onder de snelweg E3,
geraamde investering: f 150 000,-
2. Een duiker onder de weg Liessel-Helenaveen: f 50 000,-
3. Bij "De Halte" een aansluitende duiker à f 50 000
en stuwduiker à f 50 000 f 100 000,-
4. In het Defensiekanaal: verlagen van drempels van
de stuwen en mogelijkheid tot bediening f 100 000,-
5. Verdeelwerk bij Vredepeel voor de Waterschappen
"De Aa" en "De Maaskant" f 50 000,-
6. Het vervangen van een duiker in de Kleine Beek
nabij het woonhuis f 100 000,-

De onderhoudskosten zijn, evenals bij de overige kunstwerken, op 1% per jaar gesteld (variabele kosten). Dit leidt tot het volgende kostenoverzicht (tabel 9).

Tabel 9 Vaste en variabele kosten per jaar (in guldens van 1985) voor de Peelkanalen (excl. BTW en subsidies).

Maat regel nr.	Kosten ten opzichte van de autonome situatie, bij aanvoer van $1/6 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$				
	totaal bedr. investering	kosten per jaar			
		beslag op prod. fact. à 5%	waardedaling (annuïteit)	variabel	totaal
1	150 000	7 500	2258	1500	11 258
2	50 000	2 500	753	500	3 753
3	100 000	5 000	1505	1000	7 505
4	100 000	5 000	1505	1000	7 505
5	50 000	2 500	753	500	3 753
6	100 000	5 000	1505	1000	7 505
Totaal	550 000	27 500	8279	5500	41 279

Bij Katsberg bevindt zich de inlaat vanuit de Noordervaart op de Peelkanalen. De huidige capaciteit bedraagt ca. $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Deze capaciteit is met een investering van 3-4 ton globaal tot $4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ uit te breiden. Bij hogere debieten ontstaan problemen, doordat het verhang in het achterliggende kanaalstuk te groot wordt. Profielverruiming is als maatregel niet overwogen vanwege de kosten. De jaarlijkse actuele kosten van de uitbreiding van $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ worden geschat op f 30 000,-.

5.3 Baten

Het vertalen van de hydrologische effecten van wateraanvoer in baten gebeurt in 5 stappen:

1. de berekende toe- of afname van de gewasverdamping wordt uitgedrukt als percentage van de potentiële gewasverdamping;
2. de toe- of afname in de fysieke gewasopbrengst, uitgedrukt als percentage van de gewasopbrengst die wordt gerealiseerd bij potentiële verdamping, is gelijk aan het percentage genoemd onder 1.;
3. per gewas wordt bepaald wat de baten per ha zijn bij de situatie dat geen vochttekorten optreden (gedefinieerd als geldelijke opbrengst van de extra gewasproductie verminderd met extra kosten om deze extra produktie te verwerven);
4. de baten van wateraanvoer per gewas per ha wordt berekend als het percentage berekend onder 1. vermenigvuldigd met het bedrag onder 3.;
5. de baten van wateraanvoer per deelgebied tenslotte worden gevonden door sommatie van arealen van verschillende gewassen vermenigvuldigd met daarbij behorende bedragen berekend onder 4.

Bij deze punten is het volgende op te merken. Gesteld wordt dat procentuele toename van de gewasverdamping en de fysieke opbrengst onafhankelijk van de tijd is. Dus ondanks het feit dat door allerlei technologische ontwikkelingen de produktie per ha voortdurend toeneemt, blijft de gewasverdamping op hetzelfde niveau. Anders uitgedrukt: de plant is in staat om met dezelfde hoeveelheid water steeds meer droge stof te produceren.

De baten genoemd onder 3. zouden door de stijging van de produktie per ha voortdurend stijgen. Echter juist door de produktiviteitsstijging treedt over het algemeen een reële daling op van de prijzen. Omdat momenteel een situatie heerst van overproduktie is er aanleiding geweest om de specifieke situatie waarin de landbouw verkeert, nader te analyseren (Kortekaas e.a., 1988). De consequenties hiervan worden in par. 5.3.1 nader toegelicht.

De opbrengsten per deelgebied zijn afhankelijk van de arealen van in beschouwing genomen gewassen. Deze arealen zijn aan verandering onderhevig. Ook hiervoor geldt dat door de bijzondere situatie van overproduktie de consequenties hiervan wat betreft ontwikkeling van arealen nader moeten worden geanalyseerd.

5.3.1 Scenario's voor de vaststelling van de baten van wateraanvoer

Aan de hand van de resultaten van de hydrologische berekeningen, de arealen landbouwgewassen in het jaar 1985 en de prijzen in 1985 zijn per deelgebied de (geldelijke) opbrengsten van wateraanvoer voor de situatie in 1985 berekend. Hieruit zijn de baten voor het jaar 2000 afgeleid. Deze baten zijn, evenals de kosten, uitgedrukt in guldens van 1985.

Voor de baten-berekening in het jaar 2000 is gebruik gemaakt van een LEI-onderzoek dat voor het Brabant-project is verricht (Kortekaas e.a., 1986). Het LEI heeft drie varianten doorgerekend. Eén variant met een ongewijzigd EG-beleid dat tot grote overschotten voor een aantal produkten leidt en derhalve tot hoge kosten voor de Gemeenschap en twee varianten met een EG-beleid, waarbij de overschotten mogelijk geheel verdwijnen. Dit kan via lagere minimum-garantie-prijzen (prijsvariant) of met een combinatie van lagere prijzen en quotering van produkten (prijs/quota-variant).

Uit het LEI-rapport zijn de resultaten gebruikt van de laatste twee nl. de prijsvariant en de prijs/quota-variant. De drie varianten hebben betrekking op Nederland als geheel. Daarnaast heeft het LEI voor deze studie de landelijke conclusies per variant voor het landbouwgebied "zuidelijk zand" doorgerekend. In het jaar 2000 leiden beide varianten tot een sterke daling (met 45%) van de werkgelegenheid in de landbouwsector. Door het verminderen van de baten per ha, kan het inkomen van de zelfstandige agrarische ondernemers wellicht zover dalen, dat de overheid mogelijk zal moeten ingrijpen via bijv. inkomenstoelagen. Door hogere opbrengsten ten gevolge van wateraanvoer kunnen de inkomensstoelagen beperkter zijn. Bij deze baten- en kostenberekening blijft de berekening van het inkomenseffect buiten beschouwing.

In de opzet zijn de EG-landbouwprijzen en de overige opbrengsten van de landbouwproductie aangehouden als benadering van de maatschappelijke baten. De achterliggende reden is dat bij de evaluatie van een deelbeleid van de overheid zoals in deze studie (wateraanvoer) de (EG-)landbouwprijzen als een gegeven wordt aanvaard. Omdat de daaruit volgende prijs hoger is dan een (internationale) evenwichtsprijs voor landbouwprodukten is te zien als gerelateerd aan andere overheidsdoelstellingen zoals het handhaven van de landbouw zelf met het oog op inkomen en landschap.

De prijsvariant

De prijsvariant gaat uit van een strak EG-prijsbeleid in de akkerbouw. De lage prijzen leiden tot een overstap van markt-orderingsprodukten (granen, suikerbieten) naar andere akkerbouwteelten zoals consumptie- en pootaardappelen. Door toeneming van de jaarlijkse fysieke produktie (per ha) is het totale akkerbouwareaal in 2000 afgenomen. De prijsvariant bestaat uit twee varianten: variant B1 "geen extra water aanvoer" en variant B2 met "extra wateraanvoer". Beide uitkomsten verschillen weinig. In het Brabant-project is de prijsvariant dan ook als één variant beschouwd, die naast de prijs/quota-variant is doorgerekend om een indicatie te krijgen van de gevoeligheid voor veranderingen in de EG-landbouwpolitiek.

De prijs/quota-variant

Bij deze variant wordt een deel van de akkerbouwgrond uit de productie genomen. Voor de teelt van suikerbieten wordt een verdere quotering ingesteld tot 85% van de huidige productie. Daarnaast vindt een geringere prijsdaling van akkerbouwprodukten vergeleken met de prijsvariant, plaats. Een ander verschil is dat het totale areaal cultuurgrond iets groter is dan bij de prijsvariant, omdat het tuinbouwareaal bij de prijs/quota-variant minder sterk toeneemt. Van de prijsquota-variant zijn de twee varianten: variant C1 "geen extra water aanvoer" en variant C2 met "extra wateraanvoer" wel relevant. In overleg met de begeleidingsgroep is variant C2 aangemerkt als de meest reële variant voor deze studie. Deze variant zal als basis dienen voor de te bepalen baten en kosten van wateraanvoer.

5.3.2 Baten van wateraanvoer in het jaar 2000

Gegevens

Uit de LEI-studie is voor het jaar 2000 voor de prijsvariant en de prijs/quota-variant een indexcijfer berekend voor de productie per ha, de oppervlakte cultuurgrond en de prijzen per akkerbouwgewas (1985 = 100) betrekking hebbend op Nederland als geheel. Voor snijmaïs en gras heeft het LEI geen indexcijfers geleverd voor de prijzen en de productie per ha in 2000. Het studiegebied ligt voor het grootste deel in het LEI-landbouwgebied "zuidelijk zand". Het LEI heeft voor de verschillende akkerbouwprodukten (incl. snijmaïs) en voor gras het areaal voor dit landbouwgebied voor het jaar 2000 berekend.

Methodiek

De veronderstelling van het LEI is dat indien prijzen en productie-omvang niet worden beïnvloed door beleidswijzigingen op EG-niveau, een vergroting van de produktiviteit gepaard gaat met een reële prijsverlaging. Deze prijsverlaging is zodanig dat de (geldelijke) opbrengst per ha gelijk blijft. De lagere (producenten)prijzen komen in deze gedachtengang tot stand doordat een mogelijke winst door een produktiviteitsstijging, op de markten van landbouwprodukten wordt weggeconcentreerd.

Uit de LEI-gegevens is voor de drie belangrijkste akkerbouwprodukten (granen, aardappelen en suikerbieten) de gemiddelde produktiviteitsstijging berekend bij ongewijzigd EG-beleid. De produktiviteitsstijging is ongeveer 22% (van 1985 tot 2000) (zie de eerste kolom in tabel 10). De corresponderende prijsdaling om per ha een gelijke geldelijke opbrengst te verkrijgen, is ongeveer 18%. Door EG ingrijpen verwacht het LEI nog lagere prijzen, resulterend in lagere opbrengsten per ha. Bij de prijsvariant zijn de prijzen gemiddeld ongeveer 40% lager en bij de prijsquota-variant 36% lager ten opzichte van 1985 (zie kolom 2 in tabel 10).

Voor de vollegrondstuinbouw is een zelfde benadering gekozen. De produktiviteitscijfers en de prijzen zijn eveneens in tabel 10 te vinden. Ook deze gegevens zijn uit hetzelfde LEI-onderzoek af te leiden. Indien wordt aangenomen dat de cijfers van akkerbouw ook van toepassing zijn op gras en snijmaïs, kan de tabel verder worden ingevuld. De cijfers in kolom 3 geven de verwachte verandering aan van de oppervlakte cultuurgrond in het LEI-landbouwgebied "zuidelijk zand". Aangenomen is dat de veranderingen in "zuidelijk zand" voor het jaar 2000 onverminderd van toepassing zijn op de arealen in het (kleinere) studiegebied in 2000.

Tabel 10 Indexcijfers van de produktie per ha (produktiviteit), prijs, (geldelijke) opbrengsten per ha en de oppervlakte cultuurgrond (zuidelijk zand) in het jaar 2000 (1985 = 100).

Variant	Gewas	Produktiviteit (1)	Prijs (2)	Areaal (3)	Opbr. per ha (4) (1)×(2)	Tot. opbr. gewas (5) (1)×(2)×(3)
prijsvariant	akkerbouw *)	122	60	111	73	81
	snijmaïs	122	60	79	73	58
	gras	122	60	99	73	72
	tuinbouw	133	62	103	82	85
prijjs/quota-variant (C1)	akkerbouw *)	122	64	107	78	84
	snijmaïs	122	64	40	78	31
	gras	122	64	117	78	91
	tuinbouw	133	67	103	89	92
prijjs/quota-variant (C2)	akkerbouw *)	122	64	125	78	98
	snijmaïs	122	64	77	78	60
	gras	122	64	95	78	74
	tuinbouw	133	67	102	89	91

*) akkerbouw excl. snijmaïs

Vermenigvuldiging van de drie indexcijfers levert per gewas de totale baten (indexcijfer) op per procent hogere verdamping in 2000 ten opzichte van het overeenkomstige totaal in 1985.

In de studie wordt uitgegaan van de "prijjs/quota-variant met wateraanvoer (C2)" als basis. De indexcijfers voor deze variant zijn resp.:

akkerbouw: 122 * 64 * 125 = 97,6 afgerond: 98
 snijmaïs : 122 * 64 * 77 = 60,1 afgerond: 60
 grasland : 122 * 64 * 95 = 74,2 afgerond: 74
 tuinbouw : 133 * 67 * 102 = 90,9 afgerond: 91.

De indexcijfers van de andere varianten zijn op gelijke wijze te herleiden tot opbrengst-indexcijfers.

Met betrekking tot de fysieke opbrengsten is er een relatie tussen de beschikbare hoeveelheid water en de verdamping van het gewas. De hogere verdamping ten gevolge van optimaal conserveren en extra wateraanvoer zorgt voor een betere groei (produktie). Elke extra procent stijging van de gewasverdamping in het groeiseizoen levert gemiddeld een extra opbrengst per ha op van ongeveer f 25,- voor snijmaïs en gras (Werkgroep Aktualisering Waterbehoefte Land- en Tuinbouw, 1988) en f 50,- voor de akkerbouwprodukten in guldens van 1985 (PAGV, 1986). Het bedrag van f 25,- voor grasland is een, voor het "Het zuidelijk zand", gewogen gemiddelde van de bedragen die gelden indien het bedrijf niet-zelfvoorzienend is voor ruwvoer (f 30,-) resp. wel zelfvoorzienend (f 18,-). Voor vollegrondstuinbouw is een gemiddeld cijfer berekend van f 105,- per ha. Dit cijfer is afgeleid uit kwantitatieve opbrengstgegevens (PAGV, 1986).

5.3.3 Baten van berekening

De baten van berekening op grasland zijn berekend door allereerst met ARC/INFO de maximale uit oppervlaktewater te berekenen oppervlakte te bepalen (300 m aan weerszijden van de diepere waterlopen). Daarbij is geen onderscheid gemaakt tussen bestaande en uitbreidingsgebieden omdat de 300 m-grens (die op zich al arbitrair is) niet samenvalt met de grenzen van de verschillende deelgebieden (die zijn gebaseerd op de begrenzing van het van subinfiltratie profiterend oppervlakte). In kaart 10. zijn de aldus bepaalde potentiële berekeningszones aangegeven. Vervolgens is met CBS-gegevens omtrent de omvang van de berekening in 1985 (Reinds, 1986) nagegaan welk percentage van de oppervlakte cultuurgrond, ook daadwerkelijk kan worden berekend. Bij realisering van wateraanvoer met $1/3 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ zal er een volledige omschakeling naar oppervlaktewater zal plaatsvinden, waarbij de huidige totale omvang wordt gehandhaafd. Een belangrijke veronderstelling is verder dat met de simulatieresultaten wordt nagegaan welke bodemfysisch-hydrologische eenheden per waterschap het meest droogtegevoelig zijn. Beginnend bij de meer droogtegevoelige worden per waterschap zoveel eenheden berekend totdat het vereiste percentage berekening globaal wordt gehaald. De baten per waterschap volgen tenslotte uit sommatie van de afzonderlijke effecten (na omzetting in geldelijke opbrengsten).

De op deze wijze vastgestelde baten van berekening verminderd met de kosten op bedrijfsniveau, zijn voor grasland -zoals reeds eerder gesteld- vrijwel zonder uitzondering negatief. Een alternatieve benadering is om te stellen dat in het jaar 2000 nog steeds berekend zal worden en dat berekening uit oppervlaktewater baten oplevert vergeleken met berekening uit grondwater. Deze zijn vastgesteld op f 50,- per ha per jaar, omdat geen put geslagen hoeft te worden (afschrijvingstermijn ca. 10 jaar) en -moeilijk vast te stellen- baten in de vorm van vermindering van schade op niet-beregende percelen. Een grove afschatting, is dat

de schade gemiddeld f 0,05 per m³ onttrokken grondwater bedraagt. Bij een gemiddelde berekening van globaal 100 mm per groeiseizoen zijn de aldus vastgestelde baten $100 \times 10 \times 0,05 = f 50,-$ per beregende hectare. Daarmee komen de "vervangende" baten van berekening uit oppervlaktewater uit op f 100,- per beregende hectare. In hoofdstuk 7 zal worden berekend wat de consequenties van deze rekenwijze zijn voor de wateraanvoer.

6 RESULTATEN VAN HYDROLOGISCHE BEREKENINGEN

In hoofdstuk 4 is uiteengezet dat door combinatie van hydrologie, bodemfysica en gewas, 165 verschillende simulatie-eenheden zijn gedefinieerd. Vervolgens is per simulatie-eenheid met het hydrologische model SWW gedurende 1971-1986 de waterhuishouding gesimuleerd voor de volgende beheerssituaties:

- vrije drainage;
- conservering;
- conservering en wateraanvoer voor subinfiltratie met een maximale aanvoercapaciteit van $1/6 \text{ l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$;
- conservering en wateraanvoer voor subinfiltratie en beregening uit oppervlaktewater met een maximale aanvoercapaciteit van $1/3 \text{ l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$.

Deze beheerssituaties beïnvloeden veel hydrologische grootheden. Ter oriëntatie is in aanhangsel 4 aangegeven wat op grasland in 1977 voor bodemeenheid Hn21 het gesimuleerde effect is van de beheerssituaties op de slootwaterstand, het vochtgehalte van de wortelzone, de grondwaterstand, de actuele gewasverdamping en de cumulatieve gewasverdampingsreductie.

In het vervolg van dit hoofdstuk worden de belangrijkste resultaten van de hydrologische berekeningen gepresenteerd.

6.1 Gewasverdamping

Het uiteindelijke doel van al de gesimuleerde waterbeheersmaatregelen is de verhoging van de gewasverdamping (en daarmee de opbrengst).

De belangrijkste effecten zijn dan ook de effecten op de gewasverdamping. Om deze effecten te kwantificeren zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De gewasverdamping is vertaald in een oogstpercentage, dat berekend wordt als het quotiënt van de actuele gewasverdamping en de gewasverdamping onder ideale hydrologische omstandigheden;
- De oogstpercentages worden langjarig gemiddeld;
- Het conserveringseffect wordt gedefinieerd als het verschil tussen het oogstpercentage bij conservering en een situatie van vrije drainage;
- Het subinfiltratie-effect wordt gedefinieerd als het verschil tussen het oogstpercentage bij conservering plus wateraanvoer voor subinfiltratie, en het oogstpercentage bij alleen conservering;
- Het beregeningseffect wordt gedefinieerd als het verschil tussen oogstpercentage bij conservering plus wateraanvoer voor subinfiltratie en beregening, en het oogstpercentage bij conservering plus wateraanvoer voor alleen subinfiltratie.

Tabel 11 Gesimuleerde oogstpercentages en -effecten per bodemfysisch-hydrologische eenheid voor grasland bij vrije drainage, conservering, conservering en wateraanvoer voor subinfiltratie, en conservering en wateraanvoer voor subinfiltratie en beregening.

Nummer simulatie- eenheid	Beheertype vrije drainage oogstperc. (%)	Conservering		Subinfiltratie		Beregening	
		oogst- perc. (%)	effect (%)	oogst- perc. (%)	effect (%)	oogst- perc. (%)	effect (%)
107	74	74	0	74	0	99	25
703	99	99	0	99	0	99	1
705	94	95	1	96	1	100	4
1203	96	96	0	97	0	99	2
1205	90	91	1	92	2	99	7
1303	96	96	0	96	0	99	3
1306	83	87	3	89	3	100	10
1307	77	78	1	82	4	100	17
1503	95	95	0	96	1	99	3
1505	86	87	1	89	2	99	10
1506	82	84	3	87	3	100	13
1507	78	78	0	81	3	100	19
1606	84	87	3	90	3	100	10
1607	78	80	1	83	3	100	17
1902	84	84	0	84	0	81	-3
1903	84	84	0	84	0	85	1
1905	83	83	0	83	0	84	1
2103	98	98	0	98	0	99	0
2105	96	96	0	96	1	99	2
2203	98	98	0	98	0	99	1
2205	94	94	0	96	2	99	3
2303	96	96	0	97	1	99	2
2305	90	91	1	94	3	99	5
2506	86	89	3	91	2	100	9
2903	98	98	0	98	0	98	0
2907	88	88	0	89	0	99	10
3107	83	83	0	89	7	100	10
3202	91	91	0	91	0	96	6
3203	90	90	0	91	0	98	8
3303	93	93	0	94	1	97	3
3305	88	89	0	91	2	98	7
3402	88	88	0	88	0	95	6
3405	86	86	0	86	0	98	12
3403	88	88	0	88	0	98	9
3505	93	93	0	96	3	99	4
3506	90	92	2	95	3	100	5
3703	98	98	0	98	0	99	1
3705	94	94	0	97	2	99	3
3706	91	93	1	96	3	100	4
3707	85	85	0	92	6	100	8
3802	85	85	0	85	0	83	-2
3803	89	89	0	89	0	88	-1
3805	88	87	0	88	1	88	-1
4305	93	93	0	96	3	99	3
4306	89	91	2	95	4	100	5
4705	96	97	0	98	2	99	1
4706	94	96	1	98	2	100	2
4707	87	87	0	95	8	100	5
4805	97	98	0	99	1	99	0
4806	96	97	1	99	2	100	1
5407	91	91	0	94	3	99	6
6007	91	91	0	95	5	100	4
6207	81	82	1	89	7	100	11
6403	98	98	0	98	0	98	0
6503	98	98	0	98	0	98	1

In tabel 11 zijn voor grasland voor alle bodemfysisch-hydrologische eenheden in het studiegebied de gesimuleerde oogstpercentages samengevat voor de vier waterbeheerssituaties, alsmede de conserverings-, subinfiltratie-, en beregeningseffecten. De eerste twee cijfers van het nummer van de bodemfysisch-hydrologische eenheid in tabel 11 kenmerken de bodemfysische code, terwijl de twee laatste cijfers de grondwatertrap weergeven.

Uit tabel 11 zijn de volgende conclusies te trekken:

- conserveringseffecten variëren van 0 tot 3% en worden vooral behaald op gronden met een Gt VI;
- Subinfiltratie-effecten (0-8%) zijn het grootst op gronden met Gt VII, en het geringst op gronden met Gt II of III;
- De oogstpercentages bij beregening liggen vrijwel altijd in de buurt van de 100% voor gronden met Gt V, VI of VII. Beregening is dus een zeer goede manier om de gewasverdamping te optimaliseren;
- Verschillen in bodemfysica beïnvloeden in hoge mate het oogstpercentage: Zo leidt het betere vochthoudende vermogen van simulatie-eenheid 3706 (Hn23) t.o.v. eenheid 1306 (Hn21) tot een 7% hoger oogstpercentage bij subinfiltratie.

6.2 Grondwaterstanden

Uit het oogpunt van beheer van grondwater is het van belang een indruk te geven van het effect van diverse waterbeheersmaatregelen op het grondwaterstandsverloop. Voor de veel voorkomende simulatie-eenheid 1306 (Hn21 met Gt VI) is in fig. 8 het langjarig gemiddelde grondwaterstandsverloop weergegeven voor de onderscheiden beheerssituaties.

Het effect van waterconservering op de grondwaterstand blijkt het hele jaar door te werken, maar in het voorjaar zijn maximum te bereiken. Ook bij wateraanvoer voor subinfiltratie is er sprake van een duidelijke invloed op de freatische grondwaterstanden het hele jaar door, oplopend tot 30 cm. Het maximale effect wordt in augustus bereikt, maar neemt in januari pas weer af. Hetzelfde als voor wateraanvoer voor alleen subinfiltratie geldt in nog iets sterkere mate voor wateraanvoer voor subinfiltratie plus beregening.

Om een indruk te krijgen van het effect van conservering en van wateraanvoer op de grondwaterstand in het gehele studiegebied is in de kaarten 11 t/m 22 voor een aantal situaties de gesimuleerde verhoging van de grondwaterstand weergegeven bij een beheer van conservering ten opzichte van een situatie van vrije drainage, en bij een beheer van wateraanvoer voor subinfiltratie ten opzichte van een beheer van conservering.

Gekozen is voor weergave van de situatie in 1976 en 1983, die als een 2%- en een 10%-droog jaar kunnen worden beschouwd, en voor weergave van de langjarig gemiddelde situatie.

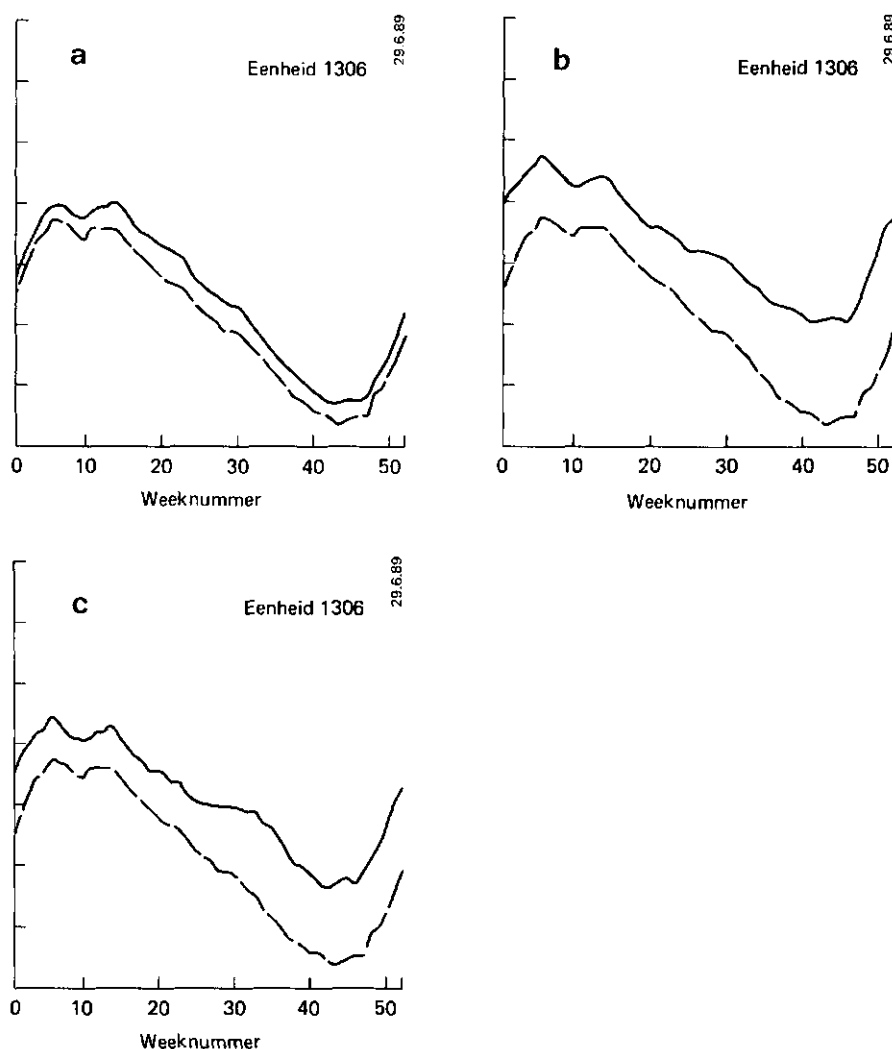


Fig. 8 Het langjarig grondwaterstandsverloop bij waterbeheersmaatregelen in vergelijking met vrije drainage voor simulatie-eenheid 1306:
 a. conservering;
 b. wateraanvoer voor subinfiltratie;
 c. wateraanvoer voor subinfiltratie en berekening.

Om een indruk te krijgen van de maximale verhoging door conservering is de grondwaterstand vergeleken in week 15 (begin april). Voor de maximale verhoging door subinfiltratie is gekozen voor week 34 (medio augustus) in 1976 en 1983. De gemiddelde verhoging in het groeiseizoen wordt weergegeven door de langjarig gemiddelde situatie in week 30 (medio juli). Aangezien niet bekend is waar zich welk gewas bevindt worden figuren getoond waarin er van uit wordt gegaan dat de hele invloedzone uit grasland, of maïs bestaat.

SWW rekent per simulatie-eenheid de grondwaterstand zeer nauwkeurig uit, en het is derhalve ook mogelijk om deze als zodanig te presenteren. De invoergegevens zijn echter van dien aard (par. 4.4) dat het getoonde beeld slechts als een globale afspiegeling van de werkelijkheid mag worden opgevat.

Uit de Kaarten 11 t/m 14 blijkt dat het effect van conservering op de grondwaterstand zich vrijwel altijd tussen de 0 en 15 cm bevindt, slechts in 1976 worden op maïspcelen, die dan nog geen gewasverdamping kennen, ook verhogingen gevonden tussen 15 en 25 cm (op grasland daarentegen vrijwel geen verhogingen).

Uit de Kaarten 15 t/m 22 zijn t.a.v. het effect op de grondwaterstand van wateraanvoer voor subinfiltratie de volgende conclusies te trekken:

- De langjarig gemiddelde verhoging in week 30 is op grasland veel duidelijker (10-25 cm) dan op maïspcelen (0-15 cm), wat te verklaren is uit de hogere gewasverdamping van maïs in deze tijd (meer wateropname door een grotere bewortelingsdiepte);
- De duidelijkste effecten concentreren zich in de bovenloop van deelgebied Everlose Beek en rond deelgebied Looboek;
- Vergelijking tussen de verhoging in 1983 in week 30 en in week 34 leert dat in vier weken tijd de verhoging ca. 15 cm is toegenomen;
- In zeer extreme situaties zoals in 1976 ontstaan vrijwel overal verhogingen van meer dan 25 cm.

Er is afgezien van een soortgelijke ruimtelijke presentatie van de extra verhoging van de grondwaterstand door berekening, omdat niet bekend is waar zich de pcelen bevinden waarop overschakeling van berekening uit grondwater naar oppervlaktewater kan plaatsvinden, en het een verkeerde voorstelling van zaken zou zijn de gehele potentiële beregeningszone van kaart 10. bijv. de verhoging door berekening van vollegrondstuinbouw toe te kennen.

Voor de twee meest voorkomende simulatie-eenheden (samen ongeveer een derde van het totale profiterende oppervlak) is voor berekening de maximale grondwaterstandsverhoging bekeken. Voor akkerbouw bedragen deze 26, resp. 7 cm in 1976, en 20, resp. 5 cm in 1983. Vollegrondstuinbouw wordt dusdanig intensief beregend, en is zo goed gedraineerd dat de grondwaterstand voornamelijk wordt bepaald door de positie van de drains.

Voor grasland blijken verlagingen van de grondwaterstand op te kunnen treden in de orde van 5 cm. Dit is het gevolg van het gesimuleerde peilbeheer dat bij toevoer van beregeningswater reageert met verlaging van het streefpeil.

6.3 Aanvoerbehoeften

Een laatste hydrologische grootheid die van belang is, is de benodigde aanvoer. In aanhangsel 5 is de naar grondgebruik per deelgebied berekende waterbehoefte weergegeven voor wateraanvoer voor subinfiltratie in 1983 en in 1976 in de maatgevende week (week 34). Tevens is de extra waterbehoefte opgenomen indien ook wateraanvoer voor beregening plaatsvindt.

Hieruit is af te leiden dat de benodigde aanvoercapaciteit in een 10%-droog jaar als 1983 $0,08 \text{ l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$ voor subinfiltratie bedraagt. De extra aanvoercapaciteit, als ook beregend wordt, bedraagt dan $0,20 \text{ l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$.

In een 2%-droog jaar als 1976 wordt dit $0,10 \text{ l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$, resp. $0,23 \text{ l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$.

7 RENTABILITEIT VAN WATERAANVOER IN NOORD-LIMBURG

Voor de beantwoording van de vraag of wateraanvoer rendabel is, moeten kosten en baten worden vergeleken. Hierbij wordt als uitgangspunt een berekening op maatschappelijk-economische grondslag genomen, d.w.z. er wordt geen rekening gehouden met subsidies en belastingen (hoofdstuk 1). Er wordt gerekend met marktprijzen, die voor een deel afhankelijk zijn van de EG-landbouwpolitiek. De invloed hiervan komt tot uitdrukking in de verschillen tussen de 3 varianten, de situatie bij ongewijzigd beleid, de prijsvariant en de prijs/quota-variant (par. 5.3.1).

Bij de vaststelling van de rentabiliteit zijn drie stappen te onderscheiden:

- a. De rentabiliteit van wateraanvoer die alleen betrekking heeft op de baten en kosten per deelgebied, waarbij is gerekend alsof het water gratis bij het inlaatpunt ter beschikking wordt gesteld; de zgn. interne rentabiliteit of rentabiliteit op waterschapsniveau;
- b. De rentabiliteit van wateraanvoer, rekening houdend met de kosten (incl. kosten van nieuwe investeringen) om water vanuit de hoofdinlaatpunten naar elk afzonderlijk deelgebied te transporteren. Met enige vrijheid is deze stap aan te duiden met rentabiliteit op provinciaal niveau. Hierbij wordt verondersteld dat er voldoende Maaswater beschikbaar is en hiervoor geen prijs wordt gerekend;
- c. De rentabiliteit van wateraanvoer, rekening houdend met een beperkte beschikbaarheid van Maaswater in droge perioden. Hierdoor kan een gedeelte van de baten van wateraanvoer niet worden gerealiseerd. In analogie met het voorgaande is deze laatste stap aan te duiden met rentabiliteit op nationaal niveau.

In het nu volgende zal eerst de rentabiliteit op waterschapsniveau aan de orde komen. De andere twee stappen zullen worden gecombineerd tot de rentabiliteit op boven regionaal niveau.

7.1 Waterschapsniveau

In hoofdstuk 5 is beschreven hoe de baten- en kostenberekening per deelgebied is uitgevoerd. De volledige resultaten hiervan zijn weergegeven in Slothouwer (1989). In de tabellen van aanhangsel 6 is voor alle wateraanvoergebieden aangegeven wat op jaarbasis de kosten en baten zijn van conservering, wateraanvoer voor subinfiltratie, respectievelijk voor subinfiltratie en beregning. Hierbij zijn de baten tevens uitgesplitst weergegeven naar grasland, maïs, akkerbouw en vollegrondstuinbouw. Er is tevens onderscheid gemaakt tussen gebieden waarbij reeds de

infrastructuur voor peilbeheer en wateraanvoer aanwezig is (of waartoe reeds is besloten) en gebieden waarvoor de infrastructuur nog moet worden gerealiseerd. Deze laatste gebieden worden in het vervolg gemakshalve uitbreidingen genoemd. Het onderscheid tussen de drie EG-scenario's is wel gehandhaafd, waarbij in de volgende bespreking de prijs/quota-variant als maatgevend is genomen. Er is vanaf gezien de exacte baten van de prijsvariant te bepalen. Dergelijke baten zijn in deelgebieden in Brabant wel vastgesteld. Hieruit is gebleken dat de berekende baten van wateraanvoer dan 10-20% lager zijn (Werkgroep Waterbeheer Noord-Brabant, 1990). Bij de beoordeling van de resultaten moet nadrukkelijk in ogenschouw worden genomen dat het hierbij gaat om berekende effecten en dat de nauwkeurigheid die door de cijfers wordt gesuggereerd, niet reëel is. Bovendien worden langjarig gemiddelde resultaten gepresenteerd. Er worden dus geen extra "baten" toegekend aan het feit dat de schommelingen in bedrijfsinkomen (enigszins) worden beperkt.

Bespreking van de resultaten

Uit de tabel B6.1 van aanhangsel 6 blijkt dat conservering vrijwel voor elk deelgebied intern rendabel is, alleen de uitbreiding Tasbeek is dit niet. Gesommeerd bedragen de interne baten van de bestaande deelgebieden bij de prijs/quota-variant f 242 000,- (totaal oppervlak ca. 12 000 ha). De totale interne baten in de uitbreidingen bedragen bij de prijs/quota-variant f 31 000,- (oppervlak ca. 1900 ha).

Evenzo blijkt uit tabel B6.2 dat wateraanvoer voor subinfiltratie voor alle bestaande deelgebieden intern rendabel is (totale interne baten f 444 000,-). Uitbreidingen zijn dit echter bijna geen van allen: alleen de uitbreiding Zwart Water vormt hierop een uitzondering (totale interne baten -f 36 000,-).

Voor de bepaling van de interne rendabiliteit van wateraanvoer voor beregening uit oppervlaktewater is onderscheid gemaakt tussen twee scenario's:

In het eerste scenario is de vraag of beregening uit oppervlaktewater intern rendabel is ten opzichte van de huidige situatie, waarin beregend wordt uit grondwater. Deze overschakeling levert zogenaamde substitutie-baten op. Dit zijn baten ten gevolge van het niet hoeven slaan van een put (ca. f 50,- per ha), en baten in de vorm van vermindering van droogteschade op niet-beregende percelen (grofweg f 50,- per ha). De totale substitutie-baten bedragen dus ca. f 100,- voor iedere hectare waarvoor kan worden overgeschakeld van beregening uit grondwater naar oppervlakte-water (par. 5.3.3). Uit tabel B6.3 blijkt dat deze substitutie-baten voor alle deelgebieden veel groter zijn dan de vaste en variabele kosten. Het is in dit scenario dus altijd intern rendabel om te beregenen uit oppervlaktewater.

Het tweede scenario gaat ervan uit dat het niet langer is toegestaan om te beregenen uit grondwater. In dat geval moet beregening uit oppervlaktewater intern rendabel zijn ten opzichte van een situatie waarin helemaal niet beregend wordt. De baten van beregening zijn dan de fysieke of "hydrologische" baten ten gevolge van de vermeerdering van de gewasproductie door beregening. Behalve de vaste en variabele kosten van beregening uit oppervlaktewater dient nu echter ook rekening te worden gehouden met de bedrijfskosten van beregening. Hiertoe zijn aan de oppervlakken vollegrondstuinbouw, akkerbouw, en grasland waarvoor overgeschakeld zou kunnen worden van grondwater naar oppervlaktewater bedrijfskosten toegekend van resp. f 500,-, f 500,-, en f 1200,- per ha.

Vergelijking van de baten en diverse kosten voor het totale oppervlakte waarvoor nu beregend wordt uit grondwater, leidt tot de conclusie dat beregening dan vrijwel nooit rendabel is (aanhangel 6, tabel B6.4). Slechts deelgebied Loobeek en uitbreiding Zwart Water vormen hierop een uitzondering. In aanhangsel 6 is tevens het kosten-baten overzicht weergegeven, indien alleen voor grasland (tabel B6.4), akkerbouw (Tabel B6.5) of vollegrondstuinbouw (tabel B6.6) zou worden beregend uit oppervlaktewater. Hieruit blijkt dat beregening ten behoeve van grasland of akkerbouw nergens intern rendabel is in vergelijking met de situatie dat niet beregend wordt. Beregening voor de vollegrondstuinbouw is echter in alle bestaande deelgebieden, alsmede in de uitbreidingen Heidse Peel en Zwart Water wel intern rendabel.

Tot slot moet benadrukt worden dat de batenberekening van beregening volgens één van beide scenario's een hypothetisch karakter hebben. Beide scenario's geven mogelijke ontwikkelingen aan, maar het aangeven van de kans dat deze scenario's werkelijkheid zullen worden, valt buiten het kader van deze studie.

7.2 Boven-regionaal niveau

Bij het bepalen van de interne rentabiliteit per deelgebied is er van uitgegaan dat het Maaswater gratis ter beschikking wordt gesteld bij het inlaatpunt en dat er altijd voldoende water beschikbaar is. De waterbehoefte is per deelgebied bepaald voor twee vormen van oppervlaktewaterbeheer, nl. aanvoer voor subinfiltratie en aanvoer voor subinfiltratie plus beregening uit oppervlaktewater. De bijbehorende maximale capaciteiten van wateraanvoer zijn $1/6 \text{ l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$ resp. $1/3 \text{ l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$. Deze capaciteiten zijn die van het stelsel binnen een deelgebied.

Indien de gesommeerde wateraanvoerbehoeften van de deelgebieden die intern rendabel zijn, groter is dan de beschikbare inlaat- of doorvoercapaciteiten van het aanvoerstelsel dat meerdere deelgebieden van water voorziet, moet een keuze worden gemaakt om in deze tekortsituatie het water te verdelen. Daarvoor is een model ontwikkeld (Vreke, 1989). Dit model bestaat uit een doelstellingsfunctie (maximalisering van de netto baten in de landbouw als gevolg van wateraanvoer) en een aantal voorwaarden waaraan de optimale verdeling van het oppervlaktewater moet voldoen (beschikbaarheid bij (hoofd)inlaatpunt, doorvoercapaciteiten van de verschillende trajecten van het aanvoerstelsel). Via deze voorwaarden kunnen ook "wensen" van de waterbeheerder worden ingebracht. Voorbeelden hiervan zijn dat aanvoer voor beregening altijd moet worden gecombineerd met aanvoer voor subinfiltratie en dat deelgebieden niet alleen mogen worden gebruikt om water door te voeren. In dat laatste geval wordt vanuit billijkheidsoverwegingen gesteld dat het betreffende deelgebied ook water voor subinfiltratie krijgt toegedeeld, ook als dat minder "oplevert" dan elders.

7.2.1 Uitgangspunten en randvoorwaarden

Bij de bepaling van de rentabiliteit op boven-regionaal niveau en van de waterverdeling is van de volgende uitgangspunten en randvoorwaarden uitgegaan:

- Bij de berekening van de verdeling van Maaswater worden alleen de deelgebieden betrokken waarvan de langjarig gemiddelde baten, berekend met de prijs/quota-variant voor het jaar 2000, hoger zijn dan de jaarlijkse totale kosten van wateraanvoer op deelgebiedsniveau (zie aanhangsel 7). Anders gezegd: de "interne" baten moeten groter zijn dan nul*.
- De deelgebieden in de waterschappen De Aa, De Dommel, De Dongestroom en De Maaskant worden ook bij het verdelingsvraagstuk betrokken.
- Als basis voor het bepalen van de baten van wateraanvoer voor beregening uit oppervlaktewater (die altijd wordt gecombineerd met wateraanvoer voor subinfiltratie) wordt genomen het substitutie-effect (f 100,- per, uit oppervlaktewater beregenbare ha), behorende bij het eerste scenario van par. 7.1.

* Ter onderscheid van het begrip baten in de vorige paragraaf (de in geld uitgedrukte verhoging van de gewasopbrengst minus de daardoor veroorzaakte extra kosten) zullen de interne baten als volgt worden gedefinieerd. De toename van de baten door aanvoer van Maaswater, verminderd met de kosten die hiervoor op deelgebiedsniveau moeten worden gemaakt. Naast deze kosten zijn er de kosten voor het primaire stelsel, die niet aan deelgebieden worden toegerekend.

- In deze studie is de week met de grootste (berekende) aanvoerbehoefte in 1983 (10%-droog jaar) en 1976 (2%-droog jaar) (weeknummer 34) als maatgevend beschouwd. Van de deelgebieden die in deze week volgens het verdelingsmodel geen water krijgen aangevoerd, worden ook geen interne baten genomen om de baten van een bepaald scenario vast te stellen. Dit is een zeer stringent uitgangspunt. Het is immers mogelijk dat buiten de periode met de grootste wateraanvoerbehoefte wel water beschikbaar is voor het deelgebied dat volgens bovenstaande procedure geen water krijgt toebedeeld. De motivering om toch volgens deze procedure te werken is dat juist in de week met de grootste aanvoerbehoefte de grootste effecten van wateraanvoer worden gerealiseerd. Bovendien is deze maatgevende week geen échte uitschieter. In genoemde droge jaren vormen ze één element van een gehele reeks weken met ongeveer gelijke aanvoerbehoefte. Ook moet benadrukt worden dat het hier gaat om langjarig gemiddelde interne baten en niet de baten die in bedoelde week optreden. Immers zodra een deelgebied water krijgt toebedeeld in een schaarstesituatie, dan zal ook altijd water beschikbaar zijn buiten deze periode.
- De effluentlozingen van met name Eindhoven en Tilburg en de schut- en lekverliezen van de Zuid-Willemsvaart zorgen voor voldoende water voor deelgebieden in De Zandley, de Maas- en Diezepolder en ten behoeve van de watervoorziening van een deel van deelgebied 4 vanuit Den Bosch (de Dieze). Een deel van het primaire aanvoerstelsel in het studiegebied is daardoor niet afhankelijk van de aanvoer van Maaswater. Het schema van het primair en secundair stelsel dat wel (mede) afhankelijk is van Maaswater wordt gegeven in kaart 23.
- De schut-, lek- en kwelverliezen moeten altijd bij voorrang worden gedekt.
- Bij gebruik van het effluent van de rioolwaterzuiveringsinstallatie (rwzi) van Uden (ca. 300 l.s^{-1}) moet altijd 300 l.s^{-1} Maaswater worden bijgemengd om het geschikt te maken voor de landbouw.
- Voor ruilverkaveling St.Oedenrode is 400 l.s^{-1} aanvoercapaciteit reeds toegezegd. De investeringskosten hiervoor in het primaire stelsel worden niet meegerekend.
- Alle industriële lozingen in het jaar 2000 zijn gesteld op de helft van de huidige omvang. De lozingen van het Waterleidingbedrijf Oost Brabant zijn niet meegenomen. Er wordt gerekend met twee industriële onttrekkers, nl. Volvo (Helmond) en Fuji (Tilburg), elk 100 l.s^{-1} .
- De benodigde hoeveelheid water voor schut-, lek- en wegzijgingsverliezen op de Zuid-Willemsvaart benedenstrooms van Nederweert ($5,0 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$) wordt in eerste instantie voorzien vanuit Lozen (cap. $9,7 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$). De overcapaciteit vanuit deze

aanvoerweg wordt gebruikt voor compensatie van schut-, lek- en wegzijgingsverliezen van het kanaal Wessem-Nederweert ($4,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), de Noordervaart ($0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) en voor de landbouwwatervoorziening. Bij tekortsituaties wordt bij Panheel Maaswater opgepompt. De kosten hiervoor komen voor rekening van de landbouw. Echter van het bij Panheel opgepompte water wordt aangenomen dat het volledig wordt gebruikt voor compensatie van genoemde verliezen op de Zuid-Willemsvaart.

Voor wateraanvoer via de Zuid-Willemsvaart en het Wilhelminakanaal zijn de meest relevante gegevens vermeld in tabel 12 (hoofdstuk 5).

Tabel 12 Overzicht van de totale en voor de landbouw in 2000 aanwezige inlaat- en doorvoercapaciteit van de Zuid-Willemsvaart en het Wilhelminakanaal en de jaarlijkse kosten per $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ van vergroting van deze capaciteit (excl. BTW).

Omschrijving	Capaciteit ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)		Jaarlijkse kosten (f*1000)	
	totaal	voor landbouw	exclusief energie	energie
Gemaal Panheel	6	2	95	34
Inlaat Lozen	10	-	-	-
Zuid.tak Zuid-Willemsvaart	5	-	37	-
Gemaal Oosterhout	-	-	123	21

7.2.2 Waterverdeling exclusief Maaswater voor de landbouw

Gegeven is het uitgangspunt dat allereerst de schut-, wegzijgings- en lekverliezen van de kanalen moeten worden gedekt. Daarmee is een relatief grote hoeveelheid Maaswater gemoeid (Rijkswaterstaat, 1984). In de situatie "context 2000" is voor deze verliezen voor de zuidelijke tak van de Zuid-Willemsvaart een doorvoercapaciteit van $5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ gepland. Daarnaast kunnen de interne lozingen van industrieën en rwzi's worden gebruikt voor de landbouwwatervoorziening. Een uitzondering is gemaakt voor de restlozing van de rwzi Uden, waarvoor bijmenging van Maaswater nodig is (zie "uitgangspunten"). Tenslotte zijn er nog twee industriële onttrekkingen gedefinieerd (Volvo en Fuji).

Verder compenseert het effluent van de rwzi Weert ($0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) de diverse diffuse onttrekkingen op de Zuid-Willemsvaart tussen Lozen en Nederweert en op de Noordervaart.

Met deze gegevens is de waterverdeling exclusief Maaswater voor de landbouw gegeven in kaart 24.

Het water afkomstig van interne lozingen is daarbij alleen maar gebruikt voor subinfiltratie. De lozingen op de Aa bijv. zijn ruimschoots voldoende om in de behoefte voor subinfiltratie te voorzien.

7.2.3 Waterverdeling in de autonome situatie voor de landbouw

Met het huidige en voorgenomen beleid is de doorvoer- en aanvoer-capaciteit van Maaswater voor de landbouw zoals aangegeven in fig. 9. Het meest opvallende hierbij is dat geen aanvoer van water mogelijk is naar deelgebieden die via de tak van de Zuid-Willemsvaart tussen Nederweert en Helmond moeten worden voorzien. Aanvoer van Maaswater is alleen mogelijk via de Noordervaart en de Peelkanalen.

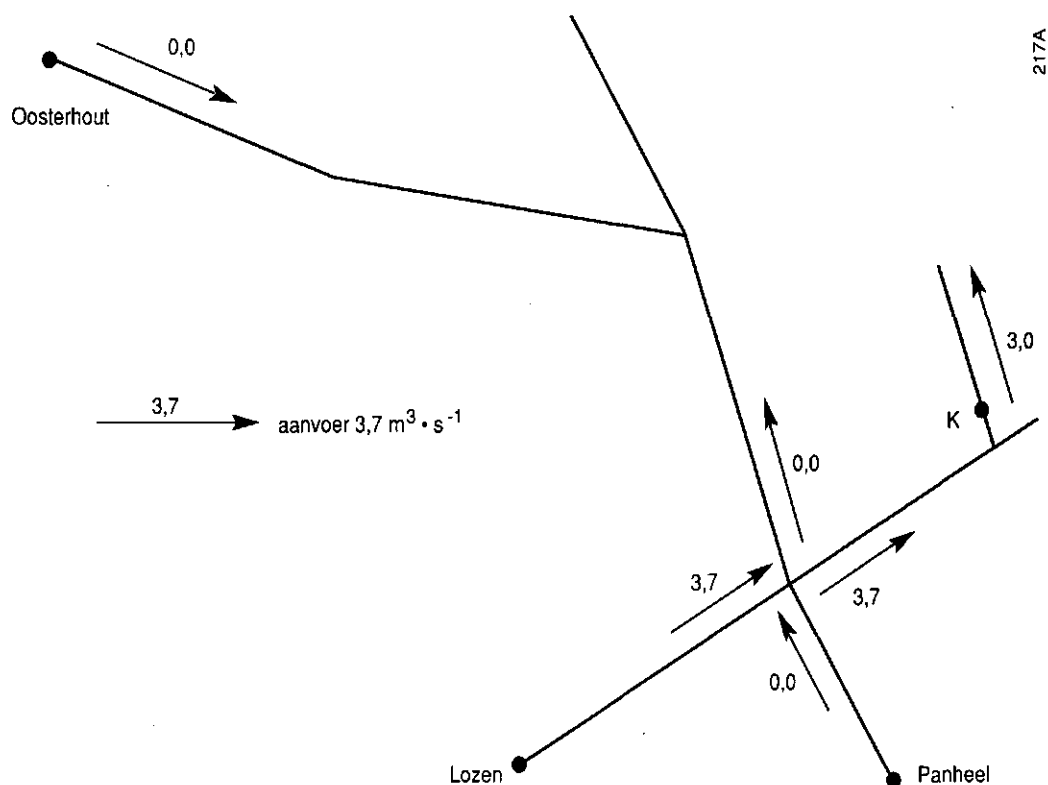


Fig. 9 Schets van de doorvoer- en aanvoermogelijkheden van Maaswater voor de landbouw in de autonome situatie (context 2000).

Als alleen subinfiltratie is toegestaan dan is, in de autonome situatie, de toedeling aan de deelgebieden zoals in kaart 25. De totale jaarlijkse interne baten hiervan bedragen f 570 000,-. De totale jaarlijkse interne baten van alleen de in Noord-Limburg gelegen deelgebieden bedragen f 436 000,-. De kosten in het primaire systeem zijn de pompkosten bij Panheel.

In de maatgevende week in het 10%-droog jaar moet ca. $1,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ worden opgepompt. De seizoensaanvoerkosten bedragen $1,6 * f 34\ 000,- = f 55\ 000,-$.

Als naast subinfiltratie ook beregening uit oppervlaktewater is toegestaan, dan wordt, per deelgebied, de vraag naar water veel groter (aanslag 7), waardoor minder deelgebieden van water kunnen worden voorzien (zie kaart 26). De totale interne baten bedragen $f 975\ 000,-$ (waarvan $f 773\ 000,-$ in het Waterschap Noord-Limburg) en de pompkosten bij Panheel $f 115\ 000,-$ ($3,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Nogmaals wordt erop gewezen dat de opbrengsten van beregening opbrengsten zijn in vergelijking met beregening uit grondwater en dat deze gesteld zijn op $f 100,-$ per beregenbare ha.

7.3 Evaluatie van maatregelen

Ten opzichte van de autonome situatie zijn een aantal maatregelen te beschouwen die in principe niet los van elkaar mogen worden gezien. Voor de inzichtelijkheid zal echter elke maatregel afzonderlijk worden behandeld, waarbij telkens, indien mogelijk en relevant, zal worden aangegeven hoe de beoordeling van de rentabiliteit van de te beschouwen maatregel afhangt van de overige maatregelen. Op de afweging tussen uitbreiding van Oosterhout of uitbreiding van de doorvoercapaciteit van de Zuid-Willemsvaart zal expliciet worden ingegaan.

De volgende maatregelen zullen worden geëvalueerd:

- uitbreiding van de doorvoercapaciteit van de Peelkanalen met ongeveer $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;
- uitbreiding van de doorvoercapaciteit bij Katsberg (van $3,0$ naar $4,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) en van de inlaatcapaciteit van de ZWV op de Noordervaart;
- installeren van pompcapaciteit bij Oosterhout;
- uitbreiding van de doorvoercapaciteit van de ZWV tussen Nederweert en Helmond;
- uitbreiding van de pompcapaciteit bij Panheel.

Uitbreiding van de doorvoercapaciteit van de Peelkanalen

Wanneer wateraanvoer alleen wordt gebruikt voor subinfiltratie is de huidige inlaatcapaciteit bij Katsberg ($3,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) en van de Noordervaart ($4,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) voldoende om alle intern rendabele gebieden die via deze weg van water moeten worden voorzien, ook daadwerkelijk te voorzien. De totale interne baten en kosten van het primaire stelsel staan gegeven in tabel 13.

De totale interne baten in de situatie dat alleen subinfiltratie is toegestaan nemen toe met $f 78\ 000,-$; de jaarlijkse daarmee verbonden kosten met $f 49\ 000,-$.

Tabel 13 Totale interne baten en kosten van het primaire stelsel (f*1000) in de autonome situatie en bij uitbreiding van de doorvoercapaciteit van de Peelkanalen.

	Subinfiltratie		Subinfiltratie plus beregening	
	autonoom	uitbreiding	autonoom	uitbreiding
Interne baten	570	648	990	1045
Kosten uitbr. Peelk.	-	41	-	41
Oppomkosten Panheel	55	63	127	130

De totale interne baten van wateraanvoer als naast subinfiltratie ook beregening is toegestaan, nemen toe met f 55 000,- en de kosten van het primaire stelsel met f 44 000,- (tabel 13). De toename van de interne baten en kosten is relatief gering, omdat wanneer het water ook wordt gebruikt voor beregening, de doorvoercapaciteit bij Katsberg beperkend wordt, waardoor de uitbreiding van de doorvoercapaciteit "benedenstrooms" van dit punt wel leidt tot een verandering in de waterverdeling, maar niet tot een uitbreiding van het areaal. Wanneer Katsberg wordt verruimd, heeft uitbreiding van de doorvoercapaciteit van de Peelkanalen veel meer effect.

Uit bovenstaande kan worden geconcludeerd dat uitbreiding van de doorvoercapaciteit van de Peelkanalen een rendabele maatregel is. Bij de volgende bespreking wordt aangenomen dat vergroting van de doorvoercapaciteit ook zal worden gerealiseerd.

Uitbreiding inlaatcapaciteiten bij Katsberg en op de Noordervaart

De inlaatcapaciteit bij Katsberg kan worden uitgebreid met maximaal $1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ tot $4,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Daardoor is de maximale water-vraag op de Noordervaart (incl. compensatie voor wegzijging) $5,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Uitbreiding van de inlaatcapaciteiten bij Katsberg en op de Noordervaart is alleen zinvol wanneer het aangevoerde water ook wordt gebruikt voor beregening. In dat geval nemen de totale baten van de deelgebieden die via deze route van water worden voorzien, t.o.v. de situatie zonder uitbreiding, toe met ca. f 290 000,-, enigszins afhankelijk van de hoeveelheid die via de ZWV wordt getransporteerd (tabel 14). De bijbehorende extra kosten zijn ca. f 135 000,-.

Tabel 14 Totale interne baten en kosten van het primaire stelsel (f*1000) wanneer alleen de doorvoercapaciteit van de Peelkanalen is uitgebreid en wanneer tevens de inlaatcapaciteit bij Katsberg en op de Noordervaart is uitgebreid (alleen relevant bij wateraanvoer voor subinfiltratie plus beregening).

	Alleen Peelkanalen uitgebreid	Peelkanalen, Katsberg en Noordervaart uitgebreid
Interne baten	1045	1331
Kosten uitbr. Peelk.	41	41
Kosten uitbr. Katsberg en Noordervaart	-	86
Oppomkosten Panheel	130	178

Op grond van bovenstaande kan worden gesteld dat uitbreiding van de inlaatcapaciteit bij Katsberg en op de Noordervaart gewenst is, ongeacht de watervraag via de zuidelijke tak van de ZWV.

Uit een nadere analyse blijkt dat verdere uitbreiding van de capaciteit bij Katsberg (en op de Noordervaart) leidt tot een vergroting van het aantal deelgebieden dat van water voor beregning kan worden voorzien. De jaarlijkse interne baten van deze uitbreiding bedragen f 627 000,-. Om deze baten te realiseren zou de capaciteit van zowel de inlaat op de Noordervaart, de inlaat bij Katsberg en de doorvoercapaciteit van de Peelkanalen drastisch moeten worden opgevoerd (met ca. $1,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Op technische gronden is echter gesteld dat verdere uitbreiding bij Katsberg (en de Peelkanalen) niet haalbaar is.

Installeren gemaalcapaciteit bij Oosterhout

In de situatie context 2000 is de aanvoer van Maaswater via de zuidelijke tak van de Zuid-Willemsvaart (tussen Nederweert en Helmond) van $5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ geheel bestemd voor compensatie van schut-, lek- en wegzijgingsverliezen op de Zuid-Willemsvaart en het Wilhelminakanaal. Door het bouwen van een gemaal bij Oosterhout kan de hoeveelheid water die voor deze doeleinden nodig is voor het Wilhelminakanaal tot aan sluis IV, voor een gedeelte worden aangevoerd vanuit de Amer. Daardoor kan een gedeelte van het Maaswater dat via de ZWV wordt aangevoerd, worden bestemd voor de landbouw. Bij wateraanvoer voor subinfiltratie is een gemaalcapaciteit van $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ voldoende om alle intern rendabele gebieden te voorzien. Strikt genomen zou een capaciteit van $1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ volstaan. Daardoor zouden de aanlegkosten voor de landbouw ook lager kunnen zijn. Op technische gronden is echter gesteld dat via Oosterhout zoveel mogelijk moet worden opgepompt als eenmaal wordt besloten tot het installeren van een gemaal.

De interne baten nemen toe met f 186 000,- en de kosten van het primaire stelsel met f 190 000,- resp. f 128 000,- (tabel 15).

Tabel 15 Totale interne baten en kosten van het primaire stelsel (f*1000) wanneer Peelkanalen, Katsberg en Noordervaart zijn uitgebreid en wanneer tevens bij Oosterhout een gemaal wordt geïnstalleerd. Tussen haakjes de aanlegkosten voor een capaciteit van $1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

	Subinfiltratie		Subinf. plus beregning	
	zonder O'hout	met O'hout	zonder O'hout	met O'hout
Interne baten	648	834	1331	1806
Kosten uitbr. Peelkanalen	41	41	41	41
Kosten uitbr. Katsberg				
en Noordervaart	-	-	86	86
Aanlegkosten Oosterhout	-	184(122)	-	221
Oppompkosten Panheel	63	37	178	176
Oppompkosten Oosterhout	-	32	-	38

Bij wateraanvoer voor beregening plus subinfiltratie is een gemaalcapaciteit van $1,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ voldoende voor compensatie van de schut-, lek- en wegzijgingsverliezen en voor de watervoorziening van deelgebied 1 van het waterschap de Dongestroom (D01). De totale interne baten nemen door het installeren van het gemaal toe met ca. f 475 000,- en de kosten van het primaire stelsel met ca. f 257 000,- (tabel 15). Deze bedragen gelden voor de situatie dat de doorvoercapaciteit van de ZWV blijft gehandhaafd op $5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Wordt deze capaciteit bijv. uitgebreid tot $7,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ dan is het bouwen van een gemaal bij Oosterhout minder noodzakelijk (onder de randvoorwaarde dat vanuit Lozen en Panheel voldoende Maaswater beschikbaar is en ook kan worden aangevoerd door uitbreiding van de capaciteit bij Panheel). In dit geval nemen door het bouwen van een gemaal bij Oosterhout de kosten in het primaire stelsel toe met f 266 000,- en de interne baten met f 273 000,-.

Als de toegezegde $0,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ aanvoercapaciteit voor de ruilverkaveling St.Oedenrode niet in rekening wordt gebracht, dan dalen de kosten met $0,4 \cdot \text{f } 37\ 000,-$ (uitbreiding ZWV)= f 15 000,-.

Op grond van bovenstaande is het bouwen van een gemaal bij Oosterhout met een capaciteit van ca. $1,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ te beschouwen als een gewenste maatregel, zelfs indien de watervoorziening via de zuidelijke tak van de Zuid-Willemsvaart wordt vergroot.

Uitbreiding doorvoercapaciteit van de Zuid-Willemsvaart

Bij wateraanvoer voor subinfiltratie is uitbreiding van de doorvoercapaciteit van de zuidelijke tak van de ZWV tussen Nederweert en Helmond met $1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ voldoende om alle intern rendabele gebieden van water te voorzien. De interne baten nemen daardoor toe met f 186 000,- en de kosten van het primaire stelsel met f 72 000,- (tabel 16).

Tabel 16 Totale interne baten en kosten van het primaire stelsel (f*1000),
wanneer Peelkanalen, Katsberg en Noordervaart zijn uitgebreid en wanneer
tevens de doorvoercapaciteit van de ZWV wordt vergroot met $1,0$
(subinfiltratie) resp. $2,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (subinfiltratie plus beregening).

	Subinfiltratie		Subinf. plus beregening	
	zonder uitbr.	met uitbr.	zonder uitbr.	met uitbr.
Interne baten	648	834	1331	1919
Kosten uitbr. Peelk.	41	41	41	41
Kosten uitbr. Katsberg en Noordervaart	-	-	86	86
Kosten uitbr. ZWV	-	47	-	117
Aanlegkosten Panheel	-	-	-	95
Aanlegkosten O'hout	-	-	-	-
Oppompkosten Panheel	63	88	176	238
Oppompkosten O'hout	-	-	-	-

Wanneer wateraanvoer ook wordt gebruikt voor berekening, worden twee situaties beschouwd: zonder en met een gemaal bij Oosterhout. In beide situaties wordt aangenomen dat de inlaatcapaciteit op de Noordervaart is vergroot tot $5,5 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$.

Tabel 16 geeft een voorbeeld van de interne baten en kosten bij een doorvoercapaciteit van de Zuid-Willemsvaart van $7,5 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ en geen gemaal bij Oosterhout.

In fig. 10a wordt de toename van kosten en baten gegeven als functie van de doorvoercapaciteit wanneer er geen gemaal is bij Oosterhout; fig. 10b geldt voor de situatie dat er wel een gemaal bij Oosterhout is geïnstalleerd.

Elk punt in de grafiek is het resultaat van een berekening met het verdelingsmodel. De discontinuïteiten in de kosten- en batenlijn zijn het gevolg van het installeren van gemaalcapaciteit bij Panheel met stapgrootten van $1,0 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. Wordt als criterium voor het bepalen van de optimale doorvoercapaciteit genomen het punt waarbij het verschil tussen interne baten en kosten van het primaire stelsel het grootst is, dan is de optimale doorvoercapaciteit van de Zuid-Willemsvaart $7,5$ (geen gemaal bij Oosterhout) resp. $6,5 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (wel gemaal bij Oosterhout). In het eerste geval moet de gemaalcapaciteit bij Panheel worden uitgebreid met $1,0 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (strikt genomen zou Panheel met $1,3 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ moeten uitbreiden om de doorvoercapaciteit ten volle te benutten); in het tweede geval is geen uitbreiding nodig. Wordt als criterium genomen het punt waarbij de totale kosten groter worden dan de totale interne baten, dan wordt de doorvoercapaciteit $9,5$ resp. $7,5 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. Verder uitbreiding heeft nl. geen zin, omdat in deze situatie alle intern rendabele gebieden van water kunnen worden voorzien. Dit criterium is overigens niet erg zinvol.

Als de toegezegde $0,4 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ aanvoercapaciteit voor de ruilverkaveling St. Oedenrode niet in rekening worden gebracht, dan dalen de kosten met $0,4 * f 47\ 000,- + (\text{evt.}) 0,4 * f 95\ 000,-$ (installatiekosten Panheel).

Gemaal bij Oosterhout versus uitbreiding capaciteit van de ZWV

Uit de resultaten zoals weergegeven in fig. 10a en 10b is af te lezen dat uitbreiding van de doorvoercapaciteit van de ZWV met $2,0 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ ongeveer gelijke toename van de interne baten tot gevolg heeft als het installeren van een gemaal bij Oosterhout met een capaciteit van $1,8 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. De toename van de kosten in het primaire stelsel t.o.v. de autonome situatie bedraagt resp. $f 547\ 000,-$ en $f 562\ 000,-$, zodat op grond hiervan een lichte voorkeur voor uitbreiding van de doorvoercapaciteit van de ZWV volgt. Echter de wateraanvoer via deze weg is in zeer droge jaren problematisch (zie hierna). Het installeren van een gemaal bij Oosterhout heeft uit dat oogpunt de voorkeur. In dat geval is het niet rendabel de gemaalcapaciteit bij Panheel uit te breiden (fig. 10b).

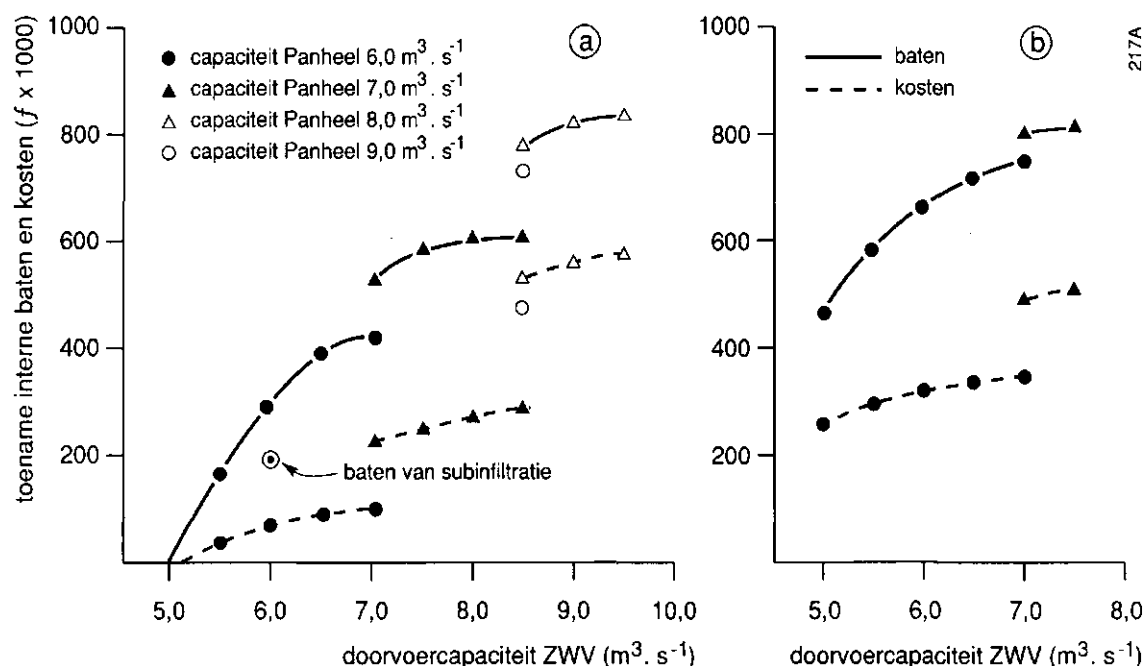


Fig. 10 De toename van de interne baten van subinfiltratie plus beregening (m.u.v. één waarde) en kosten in het primaire stelsel ($f \cdot 1000$), ten opzichte van de doorvoercapaciteit van de ZWV 5,0 $m^3 \cdot s^{-1}$ en zonder dat een gemaal bij Oosterhout is geïnstalleerd, bij uitbreiding van de doorvoercapaciteit van de ZWV bij afwezigheid (a) resp. aanwezigheid (b) van een gemaal bij Oosterhout met een capaciteit van 1,8 $m^3 \cdot s^{-1}$.

7.4 Evaluatie van scenario's

Op grond van de analyse van de afzonderlijke maatregelen kunnen geschikte combinaties van maatregelen (scenario's) worden gegenereerd. Daarbij wordt een onderscheid gemaakt tussen wateraanvoer voor subinfiltratie en wateraanvoer voor subinfiltratie plus beregening.

Wateraanvoer voor subinfiltratie

De maatregelen die rendabel zijn om de wateraanvoer voor subinfiltratie uit te breiden zijn de uitbreiding van de Peelkanalen en het vergroten van de doorvoercapaciteit van de ZWV met 1,0 $m^3 \cdot s^{-1}$ als bij Oosterhout geen gemaal wordt geïnstalleerd, en het bouwen van een gemaal bij Oosterhout met een capaciteit van 1,5 $m^3 \cdot s^{-1}$ als de doorvoercapaciteit van de ZWV 5,0 $m^3 \cdot s^{-1}$ blijft.

De verdeling van Maaswater in de Rijkskanalen van deze twee scenario's staat weergegeven in fig. 11. Welke deelgebieden daarbij van water worden voorzien is af te lezen in kaart 27. Op grond van kosten is uitbreiding van de doorvoercapaciteit van de ZWV met $1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ de meest geëigende maatregel.

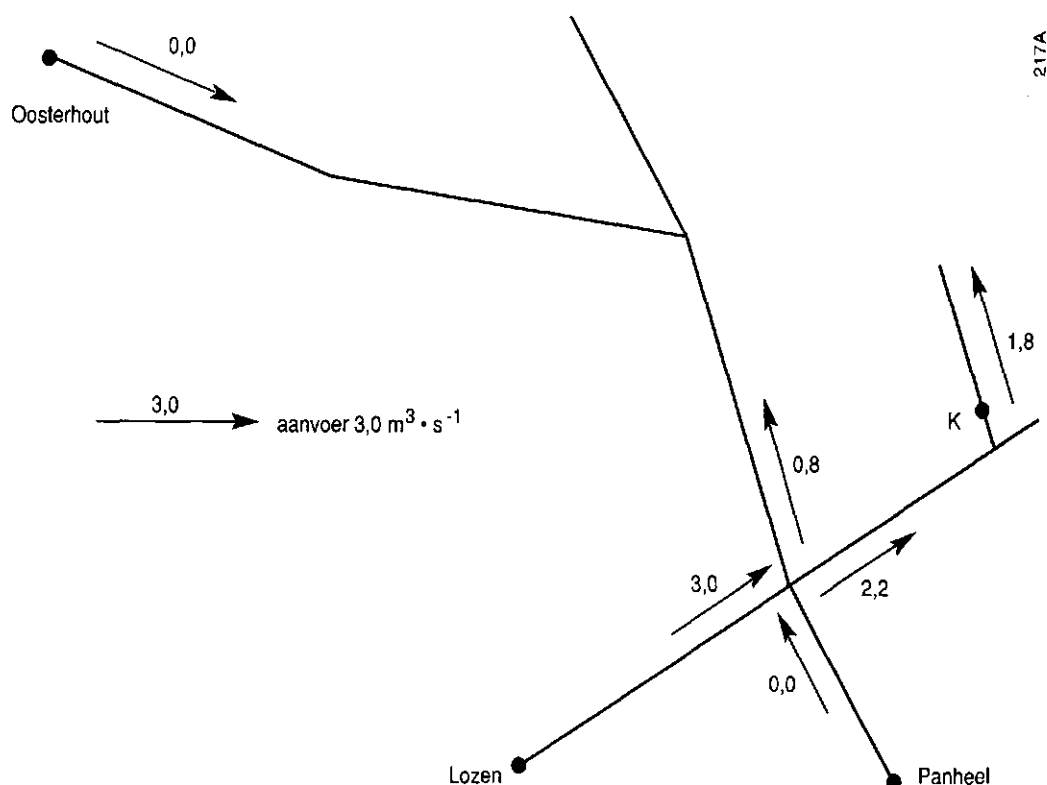


Fig. 11 Schets van de aanvoer van Maaswater voor subinfiltratie bij uitbreiding van de aanvoermogelijkheden t.o.v. de autonome situatie als volgt:

- Peelkanalen verbeterd;
- doorvoercapaciteit ZWV $6,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ of een gemaal bij Oosterhout van $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Wateraanvoer voor subinfiltratie plus berekening

In deze situatie zijn als rendabele maatregelen naar voren gekomen de uitbreiding van de Peelkanalen, uitbreiding van de doorvoercapaciteiten bij Katsberg en op de Noordervaart, installeren van een gemaal bij Oosterhout met een capaciteit van $1,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en uitbreiding van de doorvoercapaciteit van de ZWV tot $6,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Fig. 12 geeft de daarbij behorende waterstromen in de Rijkskanalen in de droogste week van een 10 %-droog jaar, terwijl in kaart 28 de waterverdeling naar de verschillende deelgebieden staat weergegeven. Een alternatief voor een gemaal bij Oosterhout is uitbreiding van de doorvoercapaciteit van de ZWV tot $7,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en het uitbreiden van de gemaalcapaciteit bij Panheel tot $7,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. In verband met de onzekere watervoorziening bij Panheel is er een lichte voorkeur voor uitbreiding van de gemaalcapaciteit bij Oosterhout.

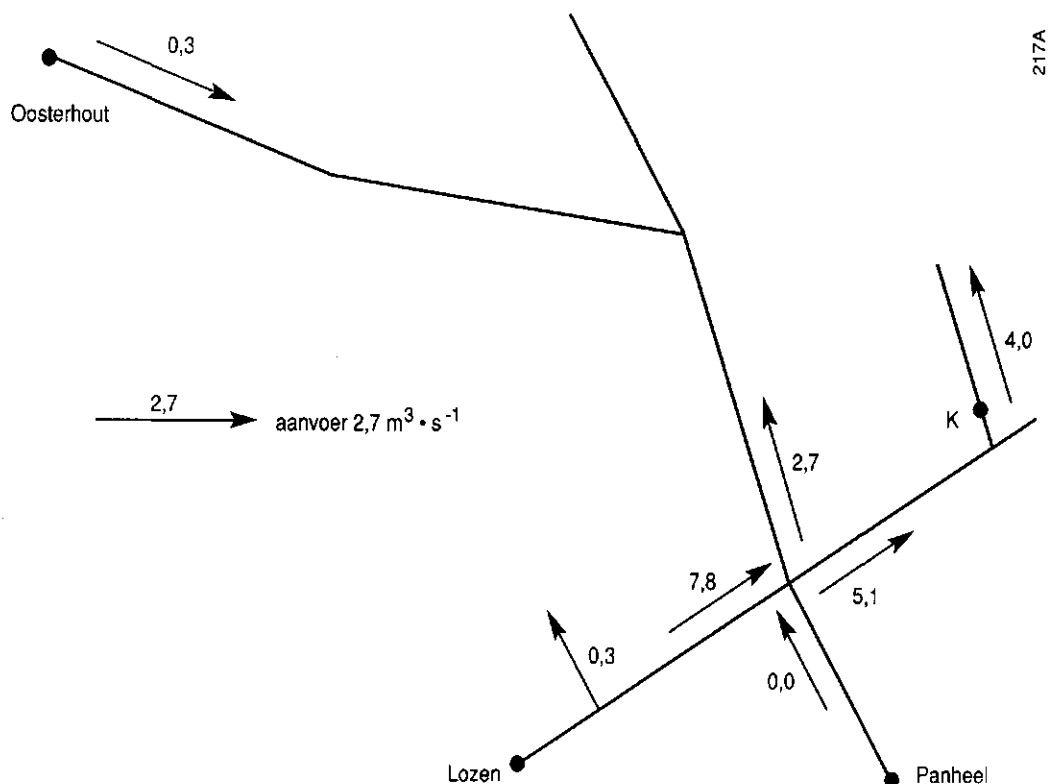


Fig. 12 Schets van de aanvoer van Maaswater voor subinfiltratie plus berekening bij uitbreiding van de aanvoermogelijkheden t.o.v. de autonome situatie als volgt:

- Peelkanalen uitgebreid;
- inlaatcapaciteiten bij Katsberg en op de Noordervaart uitgebreid;
- doorvoercapaciteit ZWV 6,5 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;
- gemaal bij Oosterhout van 1,8 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Een samenvatting van de totale interne baten en de jaarlijkse kosten in het primaire aanvoersysteem en van de drie meest relevante scenario's geeft tabel 17.

Tabel 17 Toename van de jaarlijkse interne baten en de kosten in het primaire aanvoersysteem (incl. Peelkanalen) ($f \cdot 1000$) van uitbreiding van de wateraanvoer voor drie kansrijke scenario's (zie tekst). Het betreft de toename t.o.v de autonome situatie.

Baten en kosten	Wateraanvoer voor subinfiltratie		Wateraanvoer voor subinfiltratie plus ber.
	wel gemaal O'hout	geen gemaal O'hout	
Baten	264	264	1081
Kosten incl. St. Oedenrode	250	121	606
Kosten excl. St. Oedenrode	231	102	587

Aan de hand van de gegevens in de tabel kan worden geconcludeerd dat bij wateraanvoer voor subinfiltratie enige investering in uitbreiding van de capaciteit van het primaire stelsel te overwegen is. Uitbreiding van de wateraanvoer voor subinfiltratie plus berekening is op grond van deze gegevens te kenschetsen als een zeer te overwegen activiteit. Daarbij moet worden bedacht dat de interne baten zijn verkregen door hiervoor een rekenprijs van f 100,- per beregende ha te nemen. Ook blijven bij een wat lagere rekenprijs dan f 100,- per beregende ha de toename van de interne baten hoger dan de toename van de kosten van het primaire stelsel.

Tenslotte zal een overzicht worden gegeven van de berekende waterbehoeftes naar de verschillende waterschappen van verschillende scenario's (tabel 18 en tabel 19).

Tabel 18 Berekende behoeftes van Maaswater voor subinfiltratie, van de verschillende waterschappen in de maatgevende situatie voor scenario's met aanduiding van het hoofdinlaatpunt, waarlangs het Maaswater wordt aangevoerd. De wateraanvoer voor subinfiltratie is mogelijk via de Zuid-Willemsvaart (ZWV) door aanleg van een gemaal bij Oosterhout.

Waterschap	Wateraanvoerbehoefte ($l.s^{-1}$) per hoofdinlaatpunt			
	Peelkanalen beperkt		Peelkanalen uitgebreid	
	Noordervaart	ZWV	Noordervaart	ZWV
Aa	905	422	905	422
DommeI	-	328	-	328
Noord-limburg	1031	-	1031	-
Maaskant	12	-	231	-
Totaal	1948	750	2167	740

Tabel 19 Berekende aanvoerbehoeftes van Maaswater voor subinfiltratie plus berekening van de verschillende waterschappen in de maatgevende situatie voor het scenario: Peelkanalen uitgebreid, Noordervaart en Katsberg uitgebreid, gemaal bij Oosterhout en doorvoercapaciteit ZWV $6,5 m^3.s^{-1}$; met aanduiding van het hoofdinlaatpunt waarlangs het Maaswater wordt aangevoerd.

Waterschap	Wateraanvoerbehoefte ($l.s^{-1}$) per hoofdinlaatpunt		
	Noordervaart	ZWV	Oosterhout
Aa	894	1715	-
DommeI	-	1025	-
Dongestroom	-	-	302
Maaskant	1209	-	-
Noord-Limburg	2985	-	-
Totaal	5088	2740	302

De aldus vastgestelde aanvoerbehoeftes van de verschillende waterschappen wijkt soms aanzienlijk af van de huidige capaciteit, of de door de waterschappen in de toekomst gewenste capaciteit. Dit geldt met name voor het waterschap De Aa. De oorzaak is (uiteraard) de gekozen methodiek voor de waterverdeling. Omdat bijv. in het waterschap Noord-Limburg veel vollegrondstuinbouw voorkomt, is de watervraag vanuit dit deelgebied in het verdelingsmodel "superieur" aan de watervraag vanuit het waterschap De Aa.

Het effect van een extreem droog jaar

Als de berekende wateraanvoerbehoeften in de droogste week van 1976 worden gebruikt om de waterverdeling en de bijbehorende kosten vast te stellen, worden bij voldoende beschikbaarheid van water, bij de inlaatpunten de volgende resultaten verkregen:

- Van de huidige aanvoersituatie worden dezelfde deelgebieden van water voorzien als alleen het alternatief subinfiltratie wordt beschouwd. De baten zijn dan ook gelijk; de maximale aanvoerbehoefte van het "Noordervaartstelsel" neemt toe van 1948 l.s⁻¹ tot 2463 l.s⁻¹.

Als de wateraanvoer ook wordt bestemd voor berekening is de verandering in de baten t.o.v. de 1983-situatie klein; de maximale aanvoerbehoefte neemt toe van 3708 l.s⁻¹ tot 4281 l.s⁻¹. Voor de deelgebieden in Noord-Limburg zijn de veranderingen ongeveer van dezelfde orde van grootte;

- Na uitbreiding van de doorvoercapaciteit van de Peelkanalen zijn de veranderingen in de baten marginaal. De maximale aanvoerbehoefte neemt in het geval van wateraanvoer voor subinfiltratie toe van 2167 l.s⁻¹ tot 2814 l.s⁻¹ en bij wateraanvoer voor berekening van 3686 l.s⁻¹ tot 4333 l.s⁻¹;
- Na uitbreiding van de inlaatcapaciteiten op de Noordervaart en bij Katsberg nemen de baten in de 1976-situatie af van f 1 317 000,- tot f 1 214 000,-. Door de grotere aanvoerbehoefte per deelgebied kunnen enkele deelgebieden niet meer van water worden voorzien. De maximale aanvoerbehoefte stijgt daardoor "slechts" van 5181 l.s⁻¹ tot 5452 l.s⁻¹. Vooral de inlaatcapaciteit bij Katsberg fungeert in de 1976-situatie als plafond voor de maximale aanvoerbehoefte.

7.5 Effecten van een beperkte beschikbaarheid van Maaswater

In par. 7.4 is er vanuit gegaan dat bij de hoofdinlaatpunten altijd voldoende Maaswater beschikbaar is. Voor het hoofdinlaatpunt bij Oosterhout is dat inderdaad het geval. Voor de inlaatpunten bij Lozen en Panheel is de afvoer van de Maas soms beperkend.

Uit een analyse van de afvoeren van de Maas (Silva, 1989) volgt dat in een 10%-droog jaar altijd voldoende water beschikbaar is. Echter in 1976 is in slechts 3 van de 12 zomerdecades (juni t/m september) water voor de landbouw beschikbaar. Dit geldt overi-

gens voor de huidige geldende afspraken in het kader van het Maastractaat tussen Nederland en België. De baten van wateraanvoer in 1976 komen dus te vervallen. Daardoor moeten de langjarig gemiddelde baten in deelgebieden die via deze inlaten met 10-20%, (15%) worden verminderd. Het betreft hier alle deelgebieden behalve de deelgebieden in het waterschap De Dongestroom. De uitkomsten van de analyse zoals gegeven in par. 7.4 veranderen echter niet noemenswaardig, te meer daar de hoogte van de netto baten van wateraanvoer voor berekening bij een reductie van 15% nog steeds zijn te beschouwen als "stelpost".

8 GEVOELIGHEIDSANALYSE EN EVALUATIE VAN DE RESULTATEN

In de hoofdstukken 6 en 7 zijn resultaten gepresenteerd voor situaties die nog niet zijn gerealiseerd en die voortkomen uit de gekozen onderzoeksmethodiek en bijbehorende modelberekeningen. De geldigheid (of zo men wil betrouwbaarheid) van deze resultaten is het onderwerp van dit hoofdstuk. Onzekerheden wat betreft de toekomstige landbouwkundige situatie zijn zo goed mogelijk verdisconteerd door te rekenen met de EG-prijs/quota-variant. Daarom zal in dit hoofdstuk voornamelijk worden stil gestaan bij de geldigheid van de hydrologische berekeningen. Ten behoeve hiervan zijn een aantal gevoeligheidsanalyses uitgevoerd, welke behandeld worden in par. 8.1. In par. 8.2 worden de resultaten getoetst aan veldwaarnemingen en andere studies. Tot slot volgt in par. 8.3 de uiteindelijke evaluatie van de resultaten.

8.1 Gevoeligheidsanalyse

Doel van het uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse is om aan te geven wat het effect is van bepaalde schematisaties of van de waarde van invoerparameters. Gelet op de vraagstelling, nl. het bepalen van de effecten van conservering en wateraanvoer op de gewasverdamming, is vooral de gevoeligheid hiervoor van belang en het onderwerp van nu volgende gevoeligheidsanalyses.

8.1.1 Peilbeheer

Een belangrijk gegeven bij de schematisering zijn de beheersregels. De effecten van wateraanvoer zijn (uiteraard) gevoelig voor de toegepaste beheersregels, die het streefpeil bepalen van de hydrologische situatie. Van deze eigenschap wordt gebruik gemaakt om het beheer zo effectief mogelijk te laten zijn.

Verschillen in peilbeheer binnen een peilvak komen in de praktijk niet voor, maar worden door SWW wel (per Gt) gesimuleerd.

Hierdoor wordt het aanvoereffect wellicht overschat voor die delen van een peilvak waar in de praktijk niet het beste peilbeheer op wordt afgestemd. Doel is het inschatten van de fout die door het model gemaakt wordt door per Gt een optimaal peilbeheer te veronderstellen.

Voor de bodemfysische eenheden 13 (Hn21) en 37 (Hn23) zijn voor grasland de langjarig gemiddelde subinfiltratie-effecten bepaald op Gt III en Gt VI met een peilbeheer behorend bij Gt III en Gt VI, maar ook op Gt III met een peilbeheer van Gt VI, en op Gt VI met een peilbeheer van Gt III. Het opleggen van een ander peilbeheer is praktisch gerealiseerd door het opleggen van voor het verschil in maaiveldsligging gecorrigeerde openwaterstanden.

In Tabel 20 is het resultaat van de simulaties weergegeven.

Tabel 20 Invloed van verschillen in peilbeheer op het effect van subinfiltratie, (sie) voor twee bodemfysische eenheden.

Hn21	Gt-peilbeheer combinatie				Verschillen	
	III(III)	VI(III)	III(VI)	VI(VI)	VI(VI)- VI(III)	III(VI)- III(III)
oogstfractie						
subinfiltratie	0.963	0.875	0.978	0.888	0.013	0.015
conservering	<u>0.960</u>	<u>0.873</u>	<u>0.945</u>	<u>0.868</u>	-0.005	-0.015
sie.	0.003	0.002	0.033	0.020	0.018	0.030
Hn23						
oogstfractie						
subinfiltratie	0.980	0.950	0.989	0.955	0.005	0.009
conservering	<u>0.976</u>	<u>0.949</u>	<u>0.968</u>	<u>0.927</u>	-0.022	-0.008
sie.	0.004	0.001	0.021	0.028	0.027	0.017

waarbij:

- VI(III) staat voor een grond met Gt VI waarop een peilbeheer voor Gt III wordt gevoerd, enz.

Uit de laatste twee kolommen van tabel 20 zijn de volgende conclusies te trekken:

- Een peilbeheer gericht op Gt III is gunstiger voor het oogstpercentage bij conservering dan een peilbeheer dat gericht is op gronden met Gt VI (in de orde van 1%).
- Het hoogste oogstpercentage bij subinfiltratie wordt verkregen als het peilbeheer wordt afgestemd op gronden met Gt VI (in de orde van 1%).
- Het hoogste subinfiltratie-effect wordt verkregen als het peilbeheer wordt afgestemd op gronden met een Gt VI (in de orde van 2-3%).

Indien de overschatting die gemaakt wordt door het model als het peilbeheer alleen op Gt VI wordt afgestemd, gedefinieerd wordt als:

$$\{ \text{sie.VI(VI)} - \text{sie.III(VI)} \} / \text{sie.VI(VI)}$$

voor gronden met Gt III, betekent dit voor het deel van het peilvak met Gt III een overschatting in de orde van 90-100%.

De praktijk is dat het peilbeheer van het peilvak op de nattere gronden (Gt III) wordt afgestemd. Indien de overschatting die dan door het model gemaakt wordt, wordt gedefinieerd als:

$$\{ \text{sie.VI(VI)} - \text{sie.VI(III)} \} / \text{sie.VI(III)}$$

voor gronden met Gt VI, betekent dit dat voor het deel van het peilvak met Gt VI een overschatting plaatsvindt met een factor 9 (Hn21), respectievelijk 27 (Hn23)!

Samengevat blijkt het aanvoereffect inderdaad overschat te worden voor die delen van een peilvak waar in de praktijk niet het optimale peilbeheer op wordt afgestemd. Met name als in de drogere delen van een peilvak (Gt VI) in de praktijk niet het optimale maar een op nattere delen (Gt III) gericht peilbeheer wordt uitgevoerd, is de overschatting zeer groot. Het blijkt het gunstigst het peilbeheer te richten op de drogere gronden, aangezien de nattere gronden meestal toch onder gras liggen en dan weinig tot geen schade ondervinden van een "natter" peilbeheer. Door de natste, laagste gronden uit produktie te nemen (b.v. na opkoping) nemen de mogelijkheden van peilbeheer dan sterk toe.

8.1.2 Bepaling invloedszones peilbeheer

Bij de toegepaste schematisering is de grens van 1,30 m boven zomerpeil, als begrenzing voor het door subinfiltratie beïnvloede gebied van groot belang. In deze paragraaf is de betrouwbaarheid van deze grens bekeken.

In eerste instantie zijn een tweetal simulatie-eenheden uitgekozen voor het uitvoeren van verdere hydrologische modelberekeningen. De voorkeur ging hierbij uit naar simulatie-eenheden die behoren bij een zo groot mogelijk deel van het in eerste instantie vastgestelde onderzoeksgebied in Noord-Limburg; dit bleken de simulatie-eenheid 3706 te zijn, met als meest voorkomende bodemeenheid Hn23 met grondwatertrap VI, die bijna 2 800 ha omvat, alsmede simulatie-eenheid 1306, met als meest voorkomende bodemeenheid Hn21 met een grondwatertrap VI, die ca. 2000 ha omvat.

Samen omvatten deze twee simulatiedefinities bijna een derde van het totale onderzoeksgebied van ca. 17 000 ha, en vertegenwoordigen ze twee bodemfysisch sterk verschillende situaties: Een Hn23 heeft een goed vochtleverend vermogen, terwijl een Hn21 duidelijk minder goede capillaire eigenschappen heeft en minder hangwater kan vasthouden.

De SWW-simulaties gaan weer uit van de in hoofdstuk 4 verzamelde hydrologische gegevens, waarbij echter om pragmatische redenen is afgezien van het opleggen van een wegzijgingsterm. Vervolgens is zowel voor een grondgebruik met gras als met maïs (de meest voorkomende landbouwkundige gewassen) voor een periode van zestien jaar (1,1,71 tot 1,1,87) een aantal typen peilbeheer met SWW gesimuleerd. In eerste instantie is gesimuleerd met een situatie van vrije drainage.

Voornaamste resultaat van deze simulaties zijn jaarcijfers van het oogstpercentage ten gevolge van suboptimale hydrologische omstandigheden. Van deze jaarcijfers zijn de langjarig gemiddelde waarden vastgesteld. Tevens zijn op weekbasis de gesimuleerde actuele slootwaterstanden aangegeven.

Wanneer nu een vast peil van 140 cm - mv. is gesteld betekent dit hebben in ieder geval de berekeningen van een dergelijk beheer betrekking op punten met een gemiddelde maaiveldshoogte van 140 cm boven dit vaste peil. Om de invloedszones van peilbeheer vast te stellen gaat het er om te bepalen wat een dergelijk peilbeheer voor landbouwkundige gevolgen heeft voor punten met een maaiveldshoogte die bijv. 20 cm hoger of lager is. Hiertoe is het voor 140 cm boven slootpeil berekende peilbeheer opgelegd aan punten met een andere maaiveldsligging.

Dit is in de praktijk als volgt gerealiseerd: De verschillen in maaiveldsligging zijn gemodelleerd door alle stuwpeilen met bijvoorbeeld 20 cm te verhogen of te verlagen. De op weekbasis berekende actuele slootwaterstanden bij het adviespeil zijn als randvoorwaarde opgelegd voor simulaties van punten met bijv. een 20 cm hogere of lagere maaiveldsligging.

Als resultaat van deze simulaties worden aldus oogstpercentages gevonden bij een situatie van vrije drainage voor punten met een andere maaiveldsligging dan de gemiddelde maaiveldsligging.

Vervolgens is op volkomen analoge wijze berekend wat voor oogstpercentages zouden optreden zonder vrije drainage maar wanneer een peilbeheer zou worden gehanteerd dat gericht is op optimale conservering, danwel op optimale conservering met aanvullende mogelijkheden tot wateraanvoer voor subinfiltratie.

Door de verschillen in oogstpercentage en de verschillen in conserveringseffect en subinfiltratie-effect onderling te vergelijken wordt een indruk verkregen van de zone waarbinnen het gevoerde peilbeheer nog noemenswaardige invloed heeft op de landbouwkundige opbrengsten.

In fig. 13 is vervolgens als resultaat van bovenvermelde procedure voor gras en mais bij bodemeenheid Hn23 het langjarig gemiddelde oogstpercentage weergegeven voor verschillende maaiveldshoogten, uitgaande van vrije drainage, een peilbeheer van conservering, en een peilbeheer van wateraanvoer voor subinfiltratie bij een gemiddelde maaiveldsligging van 140 cm - mv. Fig. 14 geeft het vergelijkbare beeld voor bodemeenheid Hn21.

In fig. 15 zijn voor gras en maïs zowel voor bodemeenheid Hn21 als voor bodemeenheid Hn23 het conserveringseffect en het subinfiltratie-effect weergegeven bij diverse maaiveldshoogtes.

Uit de Fig. 13, 14, en 15 kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De gevoerde peilbeheren veroorzaken bij lager gelegen gebieden enige natschade, wat voor een deel zelfs leidt tot een negatief conserveringseffect.

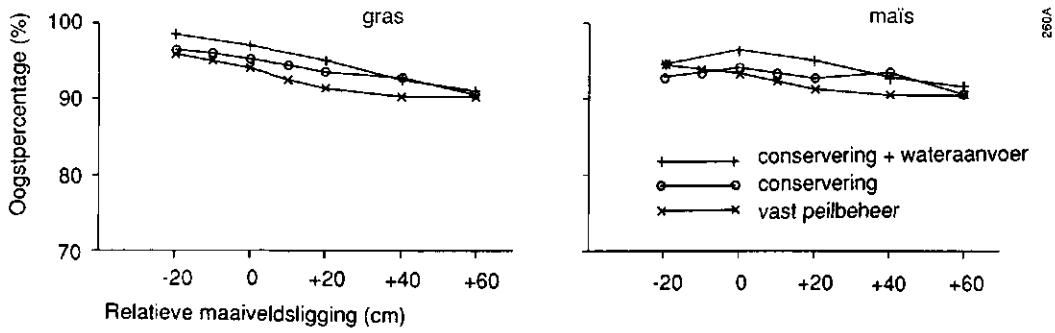


Fig. 13 Oogstpercentage voor gras en maïs bij bodemeenheden Hn23 voor diverse maaiveldshoogtes voor drie typen peilbeheer.

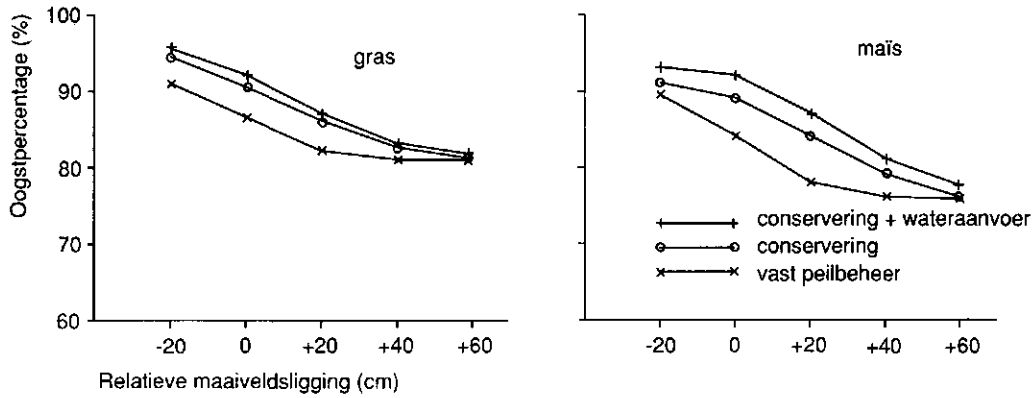


Fig. 14 Oogstpercentage voor gras en maïs bij bodemeenheden Hn21 voor diverse maaiveldshoogtes voor drie typen peilbeheer.

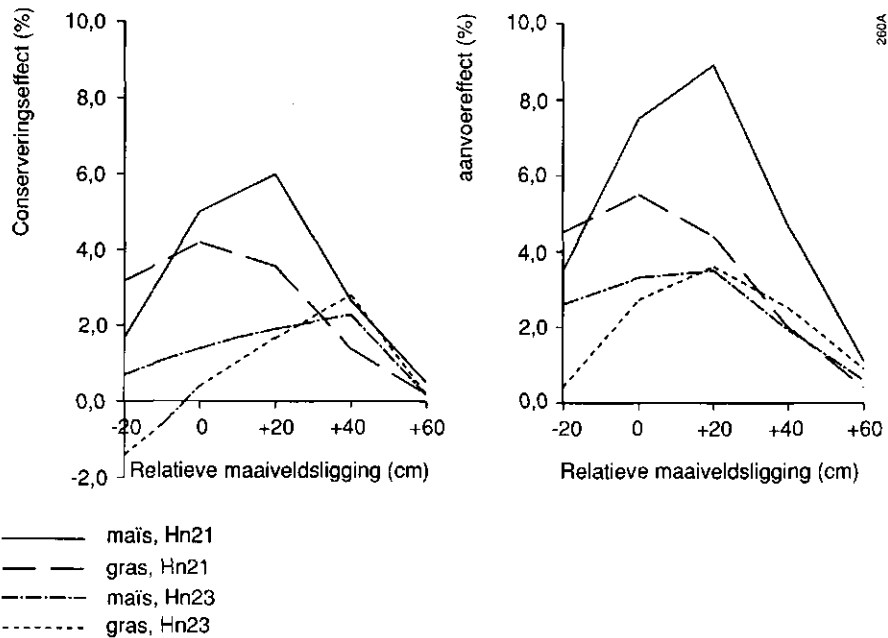


Fig. 15 Conserveringseffect en subinfiltratie-effect voor gras en voor maïs voor bodemeenheden Hn21 of Hn23 met een grondwatertrap VI bij diverse maaiveldshoogtes.

- Het gevoerde conserveringsbeheer heeft lang niet altijd zijn grootste effect bij de gemiddelde maaiveldsligging; vaak bevindt het maximale conserveringseffect zich bij punten met een ca. 20 cm hogere maaiveldsligging. Dit wijst erop dat in deze gevallen een ander, "droger" beheer, betere resultaten zou opleveren voor punten met een gemiddelde maaiveldsligging. Als representatieve waarde van het conserveringseffect voor de gehele invloedszone met zijn diverse maaiveldsliggingen voldoet de nu bij de gemiddelde maaiveldsligging berekende waarde waarschijnlijk echter vrij goed.
- Bij een 40 cm hogere maaiveldsligging blijkt het gevoerde conserveringsbeheer in sommige gevallen meer op te leveren dan het gehanteerde beheer voor subinfiltratie. De verklaring hiervoor is dat in vergelijking met conservering bij wateraanvoer op jaarbasis meer water wordt toegevoegd. Dit leidt niet alleen tot het (gewenste) effect van hogere grondwaterstanden en minder vochttekorten in de droogste tijd eind zomer, maar eveneens tot hogere grondwaterstanden in winter, voorjaar, en begin zomer. Deze (ongewenste) hogere grondwaterstanden worden afgevlakt door relatief lagere slootpeilen in te stellen, wat tot een versterkte drainage leidt.

Kennelijk veroorzaakt deze versterkte drainage voor hoger gelegen gronden dan enige droogteschade in vergelijking met een conserveringsbeheer.

- Voor gronden met relatief minder vochtleverend vermogen (Hn21), heeft het meer effect om een beheer te voeren dat gericht is op verkleining van vochttekorten in de wortelzone, dan voor gronden die van nature al een beter vermogen hebben tot het vasthouden of naleveren van bodemvocht (Hn23).
- Tot ongeveer 40 cm boven de gemiddelde maaiveldslagging zijn er nog relevante conserverings- en aanvoereffecten berekend. De gemiddelde maaiveldslagging is bij het gevoerde beheer te definiëren als 90 cm boven zomerpeil.

Hieruit blijkt dat bij maaiveldslaggingen tot $(90 + 40 =) 130$ cm boven zomerpeil nog relevante effecten van conservering en wateraanvoer worden gesimuleerd. Om wateraanvoer te kunnen realiseren bij maaiveldslaggingen tot 130 cm boven zomerpeil is wel minimaal een bodemdpte van de waterlopen van 130 cm - mv. vereist (fig. 16).

De begrenzing van de invloedszones wordt uiteindelijk dus mede bepaald door de "beschikbaarheid" van oppervlaktewater, die afhangt van de bodemdpte van de beheersbare waterlopen. Deze is voor gebieden met Gt III modelmatig gesteld op 180 cm - mv. Indien de bodemdpte minder bedraagt, zullen de effecten van wateraanvoer gaan afnemen: uit de modelberekeningen blijkt dat slechts gedurende een bepaalde periode in de zomer werkelijk het zomerpeil van 90 cm - mv. gehaald wordt (al naar gelang de meteorologische condities een tot vier maanden per zomer). Buiten deze periode zijn er ook reeds aanvoereffecten te behalen. Deze effecten zijn echter alleen te behalen bij die bodemdptes die nog wateraanvoer toelaten.

Samengevat:

- Als de bodemdpte 180 cm - mv. bedraagt zijn de subinfiltratie-effecten te behalen die in fig. 15 zijn weergegeven;
- Indien de bodemdpte minder dan 180 cm - mv. bedraagt worden de subinfiltratie-effecten uit fig. 15 met een bepaalde hoeveelheid gereduceerd die groter wordt naarmate de bodemdpte afneemt.

Uit de modelberekeningen blijkt dat het meeste aanvoereffect echter juist wordt behaald in de periode dat het zomerpeil bereikt is.

Zolang het zomerpeil bereikt kan worden (zolang de bodemdpte minstens 130 cm - mv. bedraagt) strekt de invloedszone zich uit tot 130 cm boven zomerpeil.

Indien de bodemdiepte minder dan 130 cm - mv. bedraagt, strekt de invloedszone zich uit tot deze bodemdiepte boven zomerpeil. Indien bijv. het maaiveld op 110 cm boven zomerpeil ligt en de slootbodem 100 cm diep is, ligt de slootbodem 10 cm boven zomerpeil en is dus niet bereikbaar voor wateraanvoer. Bij deze benadering hoort wel de kanttekening dat voorbij is gegaan aan de ruimtelijke beïnvloeding, dat op enige afstand van een waterloop nog effecten zijn te verwachten (schetsmatig weergegeven) in fig. 16.

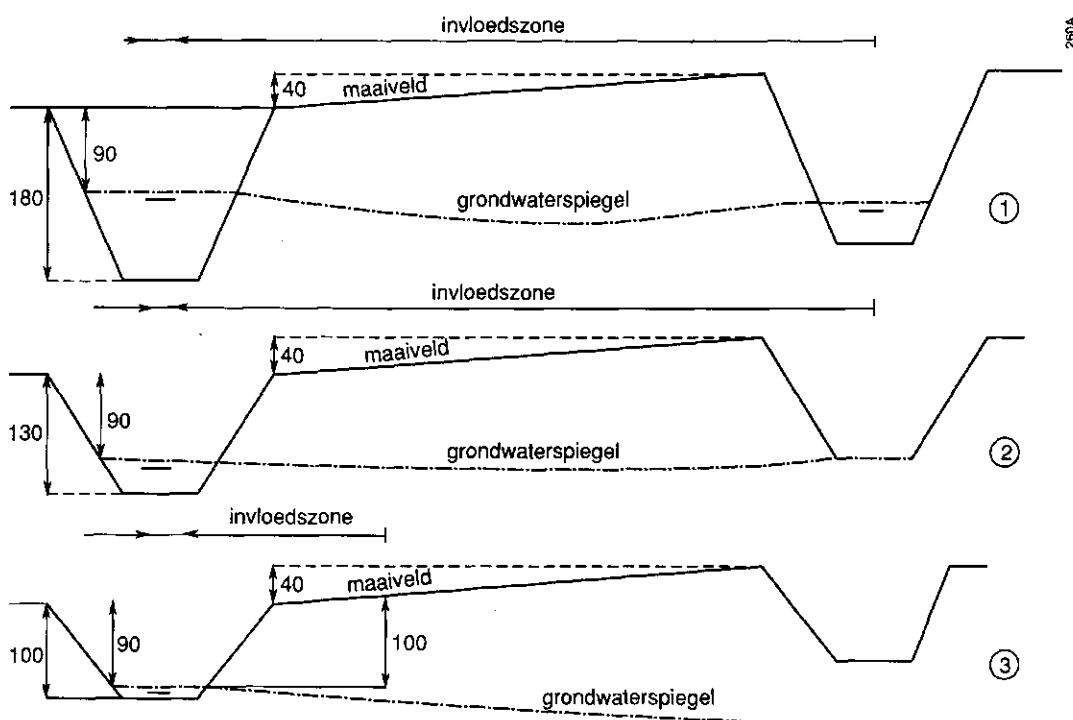


Fig. 16 Hydrologische situaties die zich kunnen voordoen bij een zomerpeil van 90 cm - mv. bij diverse slootdiepten:

1. slootdiepte = 180 cm; invloedszone tot 130 cm boven zomerpeil; oogstpercentages van fig. 15 worden behaald;
2. slootdiepte = 130 cm; invloedszone tot 130 cm boven zomerpeil; reductie van de oogstpercentages van fig. 15;
3. slootdiepte = 100 cm; invloedszone tot 100 cm boven zomerpeil; verdere reductie van de oogstpercentages van fig. 15.

8.1.3 Drainageweerstanden

Om een indruk te krijgen van de gevoeligheid van het conserverings- en subinfiltratie-effect voor de drainageweerstand zijn met SWW simulaties uitgevoerd voor grasland, waarbij de drainageweerstand is gevarieerd van de simulatie-eenheden 1306 en 3706 (Hn21, en Hn23 met Gt VI).

Uitgaande van een drainageweerstand van 400 d van het totale stelsel, zijn totale drainageweerstanden van 200, 800, en 1200 d opgelegd (zie tabel 21), waarbij alle andere invoergegevens constant zijn gehouden.

Tabel 21 Gesimuleerde drainageweerstanden van het totale stelsel met bijbehorende componenten van het secundaire en tertiaire stelsel.

Drainage weerstand (d)		
totale stelsel	secundaire stelsel	tertiaire stelsel
200	611	298
400	1222	595
800	2444	1190
1200	3666	1785

In tabel 22 is het resultaat van de uitgevoerde simulaties weergegeven.

Tabel 22 Oogstfracties bij conservering en subinfiltratie, alsmede het subinfiltratie-effect (Sie.) bij Hn21 en Hn23 voor diverse waarden van de drainageweerstand.

Oogstfractie	Drainageweerstand (d)			
	200	400	800	1200
Hn21				
Subinfiltratie	0,914	0,888	0,922	0,924
Conservering	<u>0,894</u>	<u>0,868</u>	<u>0,915</u>	<u>0,921</u>
Sie.	0,020	0,020	0,007	0,003
Hn23				
Subinfiltratie	0,968	0,955	0,965	0,964
Conservering	<u>0,948</u>	<u>0,927</u>	<u>0,956</u>	<u>0,957</u>
Sie.	0,020	0,028	0,009	0,007

Uit tabel 22 blijkt dat de modelberekeningen zeer gevoelig zijn voor verandering van de drainage-weerstand in het traject tussen 400 en 800 d (vermindering van het subinfiltratie-effect met 50-75%). Het optimum van het subinfiltratie-effect bij 400 d valt te verklaren omdat andere parameters voor deze uitgangswaarde zijn geoptimaliseerd.

8.1.4 Gt-toedeling

Om een indruk te krijgen van de gevoeligheid van het conserverings- en het subinfiltratie-effect voor de toedeling van de Gt, zijn met ARC/INFO per Gt de naar oppervlakte gewogen gemiddelde effecten op grasland berekend.

Voor de deelgebieden Everlose Beek en Lollebeek is per Gt de som van de simulatie-eenheden van het produkt van oppervlakte en conserveringseffect, resp. subinfiltratie-effect (oppce., resp. oppsie.) bepaald.

Deling door de oppervlakte per Gt geeft vervolgens het naar oppervlakte gewogen gemiddelde conserveringseffect (ce.), respectievelijk subinfiltratie-effect (sie.) per Gt per deelgebied (tabel 23).

Tabel 23 Naar oppervlakte gewogen gemiddeld conserveringseffect (ce.), resp. subinfiltratie-effect (sie.) per Gt voor deel gebied Everlose Beek en voor deelgebied Lollebeek.

Gt	Opp. (ha)	Conserveringseffect		Subinfiltratie-effect	
		oppce. (%.ha)	ce. (%)	oppsie. (%.ha)	sie. (%)
Everlose Beek					
02	58	0	0,0	0	0,0
03	561	-14	0,0	216	0,4
05	2023	1096	0,5	5 643	2,8
06	1496	2601	1,7	4 656	3,1
07	<u>708</u>	<u>126</u>	0,2	<u>3 731</u>	5,3
	4845	3809	0,8	14 248	2,9
Lollebeek					
03	949	33	0,0	151	0,2
05	1401	339	0,2	1 920	1,4
06	1678	3837	2,3	4 403	2,6
07	<u>938</u>	<u>354</u>	0,4	<u>5 143</u>	5,5
	4967	4564	0,9	11 617	2,3

Uit tabel 23 zijn de volgende conclusies te trekken:

- Conserveringseffecten worden voornamelijk op Gt VI berekend (gemiddeld naar oppervlakte in de orde van 2%); Het conserveringseffect is zeer gevoelig voor verschuiving van de Gt van en naar Gt VI.
- Subinfiltratie-effecten worden vooral berekend op Gt V, VI, en VII (gemiddeld naar oppervlakte in de orde van 2-3, 3 en 5%); Het subinfiltratie-effect is met name gevoelig voor verschuiving van en naar Gt VII.

8.1.5 Kwel/wegzijging

In deze paragraaf wordt de gevoeligheid van de uitgevoerde simulaties voor de opgelegde wegzijgings-, danwel kwelterm bepaald (par. 4.5).

Hiertoe zijn voor de simulatie-eenheden 1306 en 3706 (Hn21, resp. Hn23 met Gt VI) voor gras en maïs alle berekeningen herhaald zonder een wegzijgingsterm op te leggen. De verschillen die hierdoor ontstaan in langjarig gemiddelde oogstpercentages en conserverings-, en subinfiltratie-effecten staan in tabel 24 samengevat.

Tabel 24 Oogstfracties en conserverings-, resp. subinfiltratie-effecten (ce., resp. sie.) voor gras en maïs voor twee simulatie-eenheden (Hn21, resp. Hn23 op Gt VI) met en zonder het opleggen van een wegzijgingsterm.

	Oogstfractie					
	Hn21-VI			Hn23-VI		
	Wegzijging			Wegzijging		
	niet	wel	verschil	niet	wel	verschil
<u>Gras</u>						
Vrije drainage	0,864	0,834	0,030	0,939	0,913	0,026
Conservering	0,906	0,868	0,038	0,953	0,927	0,026
Subinfiltratie	0,919	0,894	0,025	0,972	0,962	0,010
Ce.	0,042	0,034	0,008	0,014	0,014	0,000
Sie.	0,013	0,026	-0,013	0,019	0,035	-0,016
<u>Maïs</u>						
Vrije drainage	0,841	0,815	0,026	0,935	0,925	0,010
Conservering	0,891	0,870	0,021	0,939	0,934	0,005
Subinfiltratie	0,916	0,905	0,011	0,962	0,959	0,003
Ce.	0,050	0,055	-0,005	0,004	0,009	-0,005
Sie.	0,025	0,035	-0,010	0,023	0,025	-0,002

Uit tabel 24 blijkt dat de modelberekeningen zeer gevoelig zijn voor het al dan niet modelleren van een wegzijgingsterm als randvoorwaarde:

Het al dan niet opleggen van een wegzijgingsterm op Gt VI leidt tot verschillen in conserveringseffect van 0 (Hn23 op gras) tot -1% (Hn21 op gras), en tot verschillen in subinfiltratie-effect van 0 (Hn23 op maïs) tot 2% (Hn23 op gras).

Uitdrukking van de verschillen t.o.v. het oorspronkelijke conserverings-, resp. subinfiltratie-effect bij wegzijging geeft veranderingen van 0 (Hn23 op gras) tot 56% (Hn23 op maïs), resp. van 8 (Hn23 op maïs) tot 50% (Hn21 op gras).

8.1.6 Interne levering

Bij de bepaling van de wateraanvoer-behoefte is in eerste instantie voorbijgegaan aan de mogelijkheden van zogenaamde interne levering. Dit komt neer op het beperken van de wateraanvoer door "deelgebiedseigen" water te transporteren van delen waar nog wel afvoer optreedt naar delen, waar dan al behoefte is aan wateraanvoer. Deze interne levering is in 1976 voor de deelgebieden Everlose Beek en Lollebeek op weekbasis afgeschat door van alle simulatie-eenheden in de deelgebieden de hoeveelheden drainagewater, danwel subinfiltratie-water te bepalen, deze op te tellen en te vergelijken met de externe wateraanvoer. Hierbij is er gemakshalve van uitgegaan dat het gehele deelgebied uit grasland bestaat. Het resultaat van deze exercitie is bijeengebracht in aanhangsel 8, waaruit blijkt dat de interne leveringsmogelijkheden in deelgebied Everlose Beek vrijwel nihil zijn, terwijl in deelgebied Lollebeek gedurende een week 21%, gemiddeld over de aanvoerperiode ca. 5% van de wateraanvoer-behoefte door interne levering gedekt zou kunnen worden.

8.2 Toetsing aan veldwaarnemingen en andere modelberekeningen

Om meer inzicht te krijgen in de betrouwbaarheid van de uitgevoerde simulaties, zijn de resultaten zo goed mogelijk vertaald naar veldwaarnemingen van de gepleegde wateraanvoer in 1989, en naar uitgevoerde modelberekeningen in deelgebied Everlose Beek in het kader van de aldaar uitgevoerde ruilverkaveling.

8.2.1 Veldwaarnemingen van de wateraanvoer

Door het waterschap Noord-Limburg is in de periode rond begin augustus 1989 de ingelaten hoeveelheid water bepaald voor een aantal deelgebieden. Deze zijn vergeleken met de door SWW gesimuleerde wateraanvoer voor subinfiltratie in 1983 en in 1976 (tabel 25). 1989 bevindt zich in hydrologisch opzicht tussen deze beide jaren water.

Tabel 25 Ingelaten hoeveelheden water in de periode rond begin augustus (bron Waterschap Noord-Limburg, 1989) in vergelijking tot de gesimuleerde wateraanvoer voor subinfiltratie in 1983 en 1976.

Deelgebied	Gemeten debiet (l/s)	Gesimuleerd debiet 1983 (l/s)	Gesimuleerd debiet 1976 (l/s)
Evertsoord	200	138	197
Lollebeek	710	323	436
Loobeek	75	86	94
Vredepeel	45	45	55

Een complicerende factor bij deze vergelijking is de berekening uit oppervlaktewater. Deze komt in beperkte mate voor in deelgebied Loobeek, in grotere mate in deelgebied Lollebeek (bron Waterschap Noord-Limburg).

Inderdaad bestaat met name in deelgebied Lollebeek een groot verschil tussen gemeten debiet en gesimuleerd subinfiltratie-debiet. De aangevoerde hoeveelheid water voor berekening voor deelgebied Lollebeek is op basis van CBS-gegevens per gemeente voor de berekening uit oppervlaktewater voor grasland en akkerbouw indicatief op ca. 160 l/s (50 l/s akkerbouw, 110 l/s grasland) gesteld. Dit lijkt in ieder geval een deel van de geconstateerde verschillen te verklaren.

Een andere oorzaak kan liggen in wegzijging in het aanvoerstelsel (persoonlijke mededeling Waterschap Noord-Limburg, 1990).

Samengevat komt de gesimuleerde wateraanvoer redelijk overeen met de gemeten wateraanvoer. Hierbij is de moeilijke kwantificering van het huidig aandeel van de berekening uit oppervlaktewater in de gemeten wateraanvoer een onzekere factor.

8.2.2 Modelberekeningen Everlose Beek

Het met SWW berekende subinfiltratie-effect voor deelgebied Everlose Beek (= 2,9, zie tabel 23) komt redelijk overeen met de verhoging van de verdamping door wateraanvoer van 1,7%, berekend met de methode waarbij de verhoging van het beekpeil is vertaald naar verhoging van de GLG en vervolgens toepassing van het model voor de onverzadigde zone LAMOS (Stevens, 1984).

8.2.3 Drainageweerstand per deelgebied

Een belangrijke factor bij onderzoek op het gebied van wateraanvoer is de ontwateringssituatie in een deelgebied. Hiertoe is met ARC/INFO per deelgebied per Gt het oppervlak bepaald. Vervolgens is met de bekende drainageweerstand uit par. 4.5 per Gt de naar oppervlakte gewogen gemiddelde drainageweerstand van het beheersbare stelsel per deelgebied bepaald. Per deelgebied is met ARC/INFO tevens de slootafstand van het beheersbare stelsel bepaald. Na bepaling van het quotiënt van slootafstand en drainageweerstand wordt aldus een indruk verkregen van de ontwateringssituatie in een deelgebied (tabel 26).

Uit tabel 26 blijkt de ontwateringsweerstand per meter slootafstand vrij laag te zijn in vergelijking met waarden uit andere onderzoeken (Wit, 1989). In het gebied zijn ook slootproeven uitgevoerd (Vinkers, 1984a,b). Voor de Lollebeek en Oostrumse Beek werden benaderingen van de slootweerstand afgeleid van

Tabel 26 Drainagekarakteristieken per deelgebied, afgeleid uit grondwatertrappen en slootafstanden van het beheersbare stelsel.

Deelgebied	Drainagekarakteristiek		
	drainage- weerstand (d)	gemiddelde slootafstand (m)	drainageweerstand/ slootafstand (d/m)
Everlose Beek	507	912	0,56
Evertsoord	488	723	0,67
Helenaveen	541	898	0,60
Lollebeek	494	568	0,87
Loobeek	466	858	0,54
Vredepeel	496	647	0,77

gemiddeld 1,5 resp. 1,7 d. Deze waarden zijn te herleiden tot de waarden in de laatste kolom van tabel 26 door deling door de natte omtrek. Deze is voor genoemde beken ca. 3 m. De uit de proeven af te leiden waarde voor de weerstand per meter slootafstand is dus 0,5 resp. 0,6 d/m. Dit is in zeer goede overeenstemming met de waarden afgeleid uit de grondwatertrappen en de slootdichtheid.

8.3 Evaluatie

Een kritische evaluatie van de resultaten van de gevoeligheidsanalyses is dat, zeker op locale schaal, de uitkomsten van de simulatieberekeningen sterk kunnen afwijken van de werkelijkheid. Het is een onmogelijke eis om op lokaal niveau goede overeenkomst te realiseren voor een studie van een omvang als deze.

Gezien de vraagstelling is het bovendien ook niet van belang of op lokaal niveau de uitkomsten juist zijn. Veel interessanter is of de uitkomsten op waterschapsniveau zodanig juist zijn, dat op grond daarvan beslissingen kunnen worden genomen omtrent conservering en wateraanvoer. De uitgevoerde toetsing aan veldwaarnemingen en andere studies bieden enig vertrouwen. Van groot belang is verder de marge tussen kosten en baten, of de grootte van de interne baten. Voor bestaande gebieden is de betrouwbaarheid van de uitkomsten zonder meer voldoende. Conservering, en wateraanvoer voor subinfiltratie naar deze gebieden zijn ruimschoots rendabel (totaal ca. f 242 000,- en f 444 000,-). In de uitbreidingen is de marge nog steeds zodanig ruim dat ook bij behoorlijk andere uitkomsten conservering wel en wateraanvoer niet rendabel is (totaal ca. f 31 000,- resp. -f 36 000,-). De rentabiliteit van wateraanvoer voor beregening uit oppervlaktewater in vergelijking met een situatie zonder beregening wordt

voornamelijk bepaald door de vraag of de kosten op bedrijfsniveau meegeteld worden. Berekening is dan alleen rendabel voor volle-grondstuinbouw. Als ervan uitgegaan wordt dat er toch berekend wordt, is berekening uit oppervlaktewater altijd rendabel t.o.v. berekening uit grondwater. Het in dat laatste geval gehanteerde bedrag aan "substitutie-baten" van f 100,- per beregenbare ha is als een zeer grove benadering te beschouwen.

De resultaten van berekeningen met het verdelingsmodel om de aanvoer-capaciteiten vast te stellen zijn sterk afhankelijk van de uitgangspunten en randvoorwaarden. Deze zijn echter minder "hard" dan volgt uit de formele beschrijving ervan. Zo zijn de interne baten waarmee gerekend wordt veel minder hard dan wordt gesuggereerd door de nauwkeurigheid van de cijfers. Ook allerlei kostenposten zijn het resultaat van redelijk geschematiseerde aannames. Tevens onderschat de waterverdeling gebaseerd op een droge periode wellicht de mogelijkheden van wateraanvoer. Buiten deze periode is de aanvoercapaciteit immers toereikend om meer deelgebieden van water te voorzien. De uitkomsten moeten dan ook vooral worden gezien als richtinggevend.

9 CONCLUSIES

In par. 9.1 t/m 9.3 zijn de belangrijkste onderzoekstechnische resultaten en conclusies opgenomen, zoals die volgen uit de hoofdstukken 6 en 7. De voornaamste conclusies over de geldigheid van de resultaten (zie hoofdstuk 8) vormen de inhoud van par. 9.4.

9.1 Hydrologische berekeningen

De voornaamste conclusies die uit de hydrologische berekeningen volgen, zijn over:

de gewasverdamping

- Conserveringseffecten variëren van 0 tot 3% en worden vooral behaald op gronden met een Gt VI (ca. 2%).
- Subinfiltratie-effecten (0-8%) zijn het grootst op gronden met Gt VII (ca. 5%) en Gt VI (ca. 3%) en te verwaarlozen op gronden met Gt II of III.
- De oogstpercentages bij berekening liggen vrijwel altijd in de buurt van de 100% voor gronden met Gt V, VI, of VII. Berekening is dus een zeer effectieve manier om de gewasverdamping te optimaliseren.
- Verschillen in bodemfysica beïnvloeden in hoge mate het oogstpercentage.

de grondwaterstand

Conservering

- Het effect van waterconservering op de grondwaterstand blijkt het hele jaar door te werken, maar in het voorjaar zijn maximum te bereiken.
- Het effect van conservering op de grondwaterstand bevindt zich vrijwel altijd tussen de 0 en 15 cm.

Wateraanvoer voor subinfiltratie

- Ook bij wateraanvoer voor subinfiltratie is er sprake van een duidelijke invloed op de grondwaterstand het hele jaar door, oplopend tot 30 cm. Het maximale effect wordt in augustus bereikt maar neemt in januari pas weer af.
- De langjarig gemiddelde verhoging rond eind juli is op grasland veel duidelijker (10-25 cm) dan op maïspercelen (0-15 cm), wat te verklaren is uit de hogere gewasverdamping van maïs in deze tijd door een diepere beworteling.
- De duidelijkste effecten concentreren zich in de bovenloop van deelgebied Everlose Beek en rond deelgebied Looboek.
- In zeer extreme situaties zoals in 1976, ontstaan vrijwel overal verhogingen van meer dan 25 cm.

WATERAANVOER VOOR SUBINFILTRATIE EN BEREGENING

- Ook bij extra wateraanvoer voor beregening is er sprake van een duidelijke invloed op de grondwaterstand het hele jaar door. Het maximale effect wordt in augustus bereikt en neemt in januari pas weer af. De maximale extra grondwaterstandsverhoging door beregening bedraagt 26 cm in 1976 op akkerbouwpercelen.

9.2 Interne rentabiliteit

Over de interne rentabiliteit zijn de volgende conclusies te trekken:

- Conservering is vrijwel voor elk deelgebied intern rendabel, alleen de uitbreiding Tasbeek is dit niet. Gesommeerd bedragen de totale interne baten van de prijs/quota-variant in de bestaande deelgebieden f 242 000,- (totaal oppervlak ca. 12 000 ha) en in de uitbreidingen ca. f 31 000,- (oppervlak ca. 1900 ha).
- Wateraanvoer voor subinfiltratie is intern rendabel voor alle bestaande deelgebieden (totale interne baten f 444 000,-). Uitbreidingen zijn dit m.u.v. Zwart Water echter niet (totale interne baten -f 36 000,-).
- Wateraanvoer voor beregening uit oppervlaktewater in vergelijking met beregening uit grondwater is altijd intern rendabel.
- Wateraanvoer voor beregening uit oppervlaktewater in vergelijking met een situatie waarin niet beregend wordt is vrijwel nooit intern rendabel behalve deelgebied Loosbeek met zijn uitbreiding Zwart Water. Uitgesplitst naar grondgebruik blijkt dat in dit geval beregening voor akkerbouw of grasland nergens intern rendabel is, maar dat beregening van vollegrondstuinbouw wel intern rendabel is in alle bestaande deelgebieden, alsmede in de uitbreidingen Heidse Peel en Zwart Water.

9.3 Rentabiliteit op boven-regionaal niveau

Als uitkomst van een strikt geformaliseerde rekenprocedure (dus onafhankelijk van andere, maatschappelijke processen) zijn de volgende conclusies te trekken:

- In de huidige situatie bedraagt de som van de netto interne baten van de deelgebieden die van water worden voorzien in het waterschap Noord-Limburg in een 10%-droog jaar als het aangevoerde water alleen wordt gebruikt voor subinfiltratie, f 436 000,- terwijl de aanvoerbehoefte in de maatgevende week 1031 l.s⁻¹ is.

Als het aangevoerde water ook wordt gebruikt voor beregening uit oppervlaktewater i.p.v. uit grondwater stijgen de totale netto interne baten voor waterschap Noord-Limburg tot f 773 000,- bij 3096 l.s⁻¹.

- Uitbreiding van de doorvoercapaciteit van de Peelkanalen met ca. $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ door relatief weinig ingrijpende aanpassingen is een profijtelijke maatregel.
- Uitbreiding van de inlaatcapaciteit van de Peelkanalen vanuit de Noordervaart bij Katsberg met $1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ in combinatie met een uitbreiding van de inlaatcapaciteit op de Noordervaart vanuit de Zuid-Willemsvaart van $4,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ naar $5,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ is een te overwegen maatregel als aan wateraanvoer voor beregening uit oppervlaktewater i.p.v. uit grondwater substitutie-baten worden toegekend (ca. f 100,- per beregende ha).
- De watervoorziening naar Noord-Limburg is onderdeel van het wateraanvoersysteem van de Noordbrabantse en Middenlimburgse kanalen. Indien uitsluitend water wordt gebruikt voor sub-infiltratie, is naast uitbreiding van de inlaatcapaciteit op of de doorvoercapaciteit van de Peelkanalen, uitbreiding van de doorvoercapaciteit van de tak van de Zuid-Willemsvaart tussen Nederweert en Helmond van $5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ naar $6,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ zinvol. Indien ook water wordt aangevoerd voor beregening, dan is uitbreiding van laatstgenoemde capaciteit tot $7,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ in combinatie met uitbreiding van de gemaalcapaciteit bij Panheel van $6,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ naar $7,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ een rendabele maatregel. Een gelijkwaardig alternatief hiervoor is uitbreiding van de doorvoercapaciteit van de Zuid-Willemsvaart tot $6,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ in combinatie met het installeren van $1,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ gemaalcapaciteit bij Oosterhout.
- In een 2%-droog jaar is in slechts 3 van 12 zomerdecades (juni t/m september) via Lozen of Panheel Maaswater voor de landbouw beschikbaar. Daardoor nemen de langjarig gemiddelde baten af met 10-20%. De financiële haalbaarheid van de onderzochte maatregelen wordt daardoor echter niet anders. Wel ontstaat daarvoor een lichte voorkeur voor installatiecapaciteit bij Oosterhout, indien Maaswater ook wordt gebruikt voor beregening.

Bovenstaande conclusies zijn gebaseerd op een "éénzijdige" analyse van de wateraanvoer voor de landbouw. Geen rekening is gehouden met positieve of negatieve gevolgen van waterconservering of -aanvoer voor de waterkwaliteit. Ook is de relatie met het grondwaterbeheer alleen gelegd via een rekenprijs voor aanvulling van grondwater. Aan bovengenoemde aspecten zal in een eventuele vervolgstudie aandacht moeten worden geschonken.

9.4 Geldigheid van de resultaten

Over de geldigheid van de resultaten uit de gekozen onderzoeksmethodiek, en bijbehorende schematisaties en modelberekeningen zijn de volgende conclusies te trekken:

- Onzekerheden over de toekomstige landbouwkundige situatie zijn zo goed mogelijk verdisconteerd door te rekenen met verschillende landbouwkundige scenario's. Hierbij is de EG-prijs/quota-variant als meest reëel beoordeeld.

- Verschillen in peilbeheer binnen een peilvak komen in de praktijk niet voor, maar worden door SWW wel (per Gt) gesimuleerd. Hierdoor wordt het subinfiltratie-effect overschat voor die delen van een peilvak waar in de praktijk niet het beste peilbeheer op wordt afgestemd.

Het blijkt het gunstigst het peilbeheer te richten op gronden met Gt VI, aangezien de gronden met Gt III meestal toch onder gras liggen en deze weinig tot geen schade ondervinden van een "natter" peilbeheer. Door de natste, laagste gronden uit productie te nemen (bijv. na opkoping) nemen de mogelijkheden van peilbeheer dan sterk toe.

- De invloedszone van peilbeheer voor wateraanvoer wordt vooral bepaald door de bereikbaarheid voor oppervlaktewater, die afhangt van de bodemdiepte van de beheersbare waterlopen. Deze is te stellen op 1,60-1,80 m - mv., waardoor de invloedszone zich uitstrekt tot 1,10-1,30 m boven het streefpeil in de zomer.
- De modelberekeningen zijn zeer gevoelig voor verandering van de drainage-weerstand in het traject tussen 400 en 800 dagen (vermindering van het subinfiltratie-effect met 50-75%).
- De verwachte verschuiving van de huidige Gt in vergelijking met de Gt van de in de jaren 60 opgenomen bodemkaart is deels ondervangen door systematische associaties aan de drogere Gt's van de samenstellende eenheden toe te kennen en door de hydrologische parameters zo te kiezen dat de gesimuleerde Gt's ongeveer een halve klasse droger uitkomen dan de gekarteerde Gt's.
- Conserveringseffecten worden voornamelijk op Gt VI berekend (gemiddeld naar oppervlak in de orde van 2%); het conserveringseffect is zeer gevoelig voor verschuiving van en naar Gt VI.
- Subinfiltratie-effecten worden vooral berekend op Gt V, VI en VII (gemiddeld naar oppervlak in de orde van 2-3, 3 en 5%); het subinfiltratie-effect is met name gevoelig voor verschuiving van en naar Gt VII.
- De modelberekeningen zijn gevoelig voor het al dan niet modelleren van kwel/wegzijging als randvoorwaarde: het al dan niet opleggen van een wegzijgingsterm op Gt VI leidt tot verschillen in conserveringseffect van 0 (Hn23 op gras) tot -1% (Hn21 op gras), en tot verschillen in subinfiltratie-effect van 0 (Hn23 op maïs) tot 2% (Hn23 op gras).
Uitdrukking van de verschillen t.o.v. het oorspronkelijke conserverings-, resp. subinfiltratie-effect bij wegzijging geeft veranderingen van 0 (Hn23 op gras) tot 56% (Hn23 op maïs), resp. van 8 (Hn23 op maïs) tot 50% (Hn21 op gras).
- Het is niet eenvoudig na te gaan of het mogelijk is wateraanvoer te beperken door "deelgebiedseigen" water te transporteren van delen waar op een bepaald tijdstip nog afvoer optreedt naar delen waar op dat tijdstip al behoefte is aan wateraanvoer; deze zogenaamde "interne levering" is voor twee deelgebieden bepaald (in deelgebied Everlose Beek vrijwel nihil en in deelgebied Lollebeek een week 21%, gemiddeld over de aanvoerperiode ca. 5% van de waterbehoefte), en is verder verwaarloosd.

- Het gebruik van het Geografisch Informatie Systeem (GIS) ARC/INFO is geschikt gebleken voor de bewerking en verwerking van geografische informatie. Met name de mogelijkheid dwarsdoorsnedes (overlays) te maken van informatie (bijv. bodemeenheden met Gt met deelgebied) en rekenresultaten te presenteren op elke schaal (bijv. gesimuleerde grondwaterstanden per bodemeenheid en Gt) is erg waardevol gebleken. Nadelen zijn de arbeidsintensieve digitaliseringswerkzaamheden, de benodigde expertise om met ARC/INFO om te kunnen gaan, en de neiging om geografisch te gedetailleerd te werk te gaan, waardoor onevenwichtigheid kan ontstaan tussen kennis van de werkelijkheid en de hoeveelheid te verwerken informatie.
- Het subinfiltratie-effect voor deelgebied Everlose Beek komt redelijk overeen met de resultaten van een eerder onderzoek in dit verband (Stevens, 1984).
- De ontwateringssituatie per deelgebied is te karakteriseren als het quotiënt van drainageweerstand en slootafstand van de watervoerende sloten. Deze grootheid is per deelgebied berekend en bleek in goede overeenstemming te zijn met uit slootproeven afgeleide waarden.
- De regionale stroming wordt niet expliciet in het systeem betrokken, maar slechts als randvoorwaarde meegenomen in de hydrologische parameters: Regionale verschillen worden gekoppeld aan de bodem en de grondwatertrap. De gemaakte schematisering in bodemfysische eenheden en per Gt zijn op lokaal niveau niet verifieerbaar, op deelgebiedsniveau bleek deze redelijk verantwoord: metingen van de wateraanvoer in 1989 kwamen redelijk overeen met de gesimuleerde wateraanvoer voor subinfiltratie. Een probleem hierbij was de moeilijke kwantificering van het aandeel van de berekening uit oppervlaktewater in de gemeten wateraanvoer.
- Op lokale schaal kunnen de uitkomsten van de simulatieberekeningen sterk afwijken van de werkelijkheid. Het is een onmogelijke eis om op lokaal niveau goede overeenkomst te realiseren voor een studie van een omvang als deze. Gezien de vraagstelling is het bovendien ook niet van belang of op lokaal niveau de uitkomsten juist zijn.
- Essentieel is of de uitkomsten op waterschapsniveau zodanig juist zijn dat op grond daarvan beslissingen kunnen worden genomen over conservering en wateraanvoer. De uitgevoerde toetsing aan veldwaarnemingen en andere studies bieden enig vertrouwen.
- Van groot belang voor de betrouwbaarheid is verder de marge tussen kosten en baten, of de grootte van de interne baten. Voor bestaande gebieden is de betrouwbaarheid van de uitkomsten zonder meer voldoende. Conservering, en wateraanvoer voor subinfiltratie naar deze gebieden zijn ruimschoots rendabel. In de uitbreidingen is de marge nog steeds zo ruim dat ook bij heel andere uitkomsten conservering wel en wateraanvoer niet rendabel is.

- De rentabiliteit van wateraanvoer voor beregening uit oppervlaktewater in vergelijking met een situatie zonder beregening wordt voornamelijk bepaald door de vraag of de kosten op bedrijfsniveau meegeteld worden. Beregening is dan alleen rendabel voor vollegrondstuinbouw. Als ervan uitgegaan wordt dat er toch beregend wordt, is beregening uit oppervlaktewater altijd rendabel t.o.v. beregening uit grondwater. Het gehanteerde bedrag aan "substitutie-baten" van f 100,- per beregenbare ha is dan als een zeer grove benadering te beschouwen.
- De resultaten van berekeningen met het verdelingsmodel om de aanvoercapaciteiten vast te stellen, zijn sterk afhankelijk van de uitgangspunten en randvoorwaarden. Deze zijn echter minder "hard" dan volgt uit de formele beschrijving ervan. Zo zijn de interne baten waarmee gerekend wordt veel minder hard dan wordt gesuggereerd door de nauwkeurigheid van de cijfers. Ook allerlei kostenposten zijn het resultaat van redelijk geschematiseerde aannames. Tevens onderschat de waterverdeling gebaseerd op een droge periode wellicht de mogelijkheden van wateraanvoer. Buiten deze periode is de aanvoercapaciteit immers toereikend om meer deelgebieden van water te voorzien. De uitkomsten moeten dan ook vooral worden gezien als richtinggevend.

LITERATUUR

- Bakel, P.J.T. van, 1985. Effekten van peilbeheer in het aanvoergebied De Monden (Drenthe). Wageningen, ICW. Rapport nr. 15.
- Belmans, C., J.G. Wesseling en R.A. Feddes, 1983. Simulation model of the water balance of a cropped soil; SWATRE. J. Hydr. 63 (3/4): 271-286. Wageningen, ICW, Techn. Bull. 21.
- Bles, B.J. en A.G. Beekman, 1984. Revisie grondwatertrappen Noord-Brabant. Wageningen, STIBOKA. Rapport nr. 1804.
- Centraal Bureau voor de Statistiek, 1985. Landbouwmetelling 1985.
- DGV/TNO, 1973, 1978. Grondwaterkaart van Nederland. Kaartbladen 52 West en 52 Oost.
- Feddes, R.A., P.J. Kowalik and H. Zaradny, 1978. Simulation of water use and crop yield. Simulation monograph. Wageningen, PUDOC.
- Feddes, R.A., 1987. Crop factors in relation to Makkink reference-crop evapotranspiration. In: Versl. en Meded. 39: p. 33-45. 's-Gravenhage, TNO. Comm. Hydr. Onderz.
- Holst, A.F. VAN, W.J.M. Te Riele en B.J. Bles, 1988. Bodemkundig-hydrologische inventarisatie en modelberekeningen van vochttekorten en relatieve opbrengsten. Wageningen, STIBOKA. Rapport nr. 1864.
- IWACO, 1987. Geohydrologisch onderzoek Centrale Slenk fase II. Boxtel, IWACO B.V. Rapport 30.162-1.
- Kortekaas, B., G. Tamminga en G. Trip, 1988. Prijsscenario's en grondgebruik ten behoeve van het ICW-project Midden en Oost-Brabant. LEI-Den Haag.
- Kortleve, M., 1989. Regionaal geohydrologisch modelonderzoek van het stroomgebied van de Drentsche Aa. Utrecht, Staatsbosbeheer.
- Oskam, W., 1961. Landbouwkundige effecten van de watervoorziening. Cult. Tijdschr. 1: 18-26.
- PAGV, 1986. Kwantitatieve informatie van de Akkerbouw en de groenteteelt in de vollegrond. Alkmaar-Lelystad, Proefstation voor de Akkerbouw en groenteteelt in de vollegrond.
- Poelman, A., 1987. Geohydrologische modelstudie van de Groote Peel en omgeving. Utrecht, Staatsbosbeheer, Rapport 88-3.
- Pulles, J.W., 1983. Beleidsanalyse voor de waterhuishouding in Nederland/PAWN. Den Haag, Rijkswaterstaat.

Querner, E.P. and P.J.T. van Bakel, 1988. Description of regional groundwater model SIMGRO. Wageningen, ICW. Report 7.

Rijkswaterstaat, 1984. Onderzoek naar de toekomstige waterbehoeften n.a.v. de verbetering der Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen. Maastricht, Directie Limburg van Rijkswaterstaat.

Sluys, van der, 1982. De grondwatertrap als karakteristiek van het grondwaterstandverloop. *H₂O(15)3*: 42-46.

Stevens, H., 1984. Batenberekening wateraanvoer. Een methodiek toegepast op de ruilverkaveling "Everlose Beek" en enkele aangrenzende gebieden. Mededelingen Landinrichtingsdienst Utrecht. Roermond Landinrichtingsdienst, afdeling Onderzoek.

Stichting voor Bodemkartering, resp. 1968, 1975, 1972, 1968. Bodemkaart van Nederland, respectievelijk Blad 52 West, Blad 52 Oost, Blad 58 West en Blad 58 Oost. Wageningen.

Velde, G. van der, en J. de Vegt, 1987. Agro-hydrologisch onderzoek Breehei. KIWA NV. Nieuwegein, Vakgroep Hydrologie.

Vinkers, H.J., 1985. Bepaling van de slootweerstand van de Lollebeek tussen de stuwen L10 en L9. Nieuwegein, KIWA NV, Vakgroep Hydrologie.

Vinkers, H.J., 1985. Bepaling van de slootweerstand van de Oostrumsche beek tussen de stuwen O9 en O10. Nieuwegein, KIWA NV, Vakgroep Hydrologie.

Voet, P. van der. Bewerking en verwerking van gegevens bij regionaal hydrologisch modelonderzoek m.b.v. het GIS-systeem ARC/INFO. Wageningen, Staring Centrum. Rapport (in voorbereiding).

Volp, C. and A.C.W. Lambrechts (eds.), 1988. The SAMWAT-database for computer models in water management. SAMWAT-report no. 2.

Vreke, J. Het waterverdelingsvraagstuk in het kader van het project "Waterbeheer midden en oostelijk Noord-Brabant". Wageningen, Staring Centrum. Rapport (in voorbereiding).

Waterloopkundig Laboratorium, 1985. Overzicht en vergelijking van enkele methoden voor de bepaling van de landbouwaanvoerbehoefte.

Werkgroep Aktualisering Waterbehoefte Land- en Tuinbouw, 1988. Aktualisering waterbehoefte Land- en Tuinbouw, Interim-rapport. Utrecht, Landinrichtingsdienst.

Werkgroep Landbouwkundige Aspecten, 1984. Landbouwkundige aspecten van grondwateronttrekking; berekening van schade als gevolg van kunstmatige verlaging van de grondwaterstand. Utrecht, CoGroWa.

Werkgroep Waterbeheer Noord-Brabant, 1990. Planning van de opperlaktewaterhuishouding in midden en oostelijk Noord-Brabant. Fase 1: Bepaling van de rentabiliteit van waterconservering en -aanvoer en de waterverdeling t.b.v. de landbouw. Wageningen, Staring Centrum. Rapport 99.

Wijk, A.L.M. Van, and R.A. Feddes, 1986. Simulating effects of soil type on arable crop yield. In: J. Wesseling and A.L.M. van Wijk (eds.). Agricultural Water Management. Balkema, Rotterdam 97-112. Wageningen, ICW. Techn. Bull. n.s. 40.

Wijk, A.L.M. van, R.A. Feddes, J.G. Wesseling en J. Buitendijk, 1988. Effecten van grondsoort en ontwatering op de opbrengst van akkerbouwgewassen. Wageningen, ICW. Rapport n.s. 31.

Wösten, J.H.M., J. Bouma en G.H.S. Stoffelsen, 1988. Toepassing van bodemkaarten bij het gebruik van simulatiemodellen voor de waterhuishouding. Cult. Tijdschr. 25(2): 69-79.

Niet-gepubliceerde bronnen

Beekman, W. en P.J.T. van Bakel, 1988. Ontwikkeling en toepassing van het simulatiemodel SWW als begeleidingssysteem voor het kwantitatieve oppervlaktewaterbeheer. Wageningen, ICW. Nota 1912.

Dijkema, M.R., 1986. Indikatieve berekeningen van de kwantitatieve effecten van wateraanvoer en waterwinning in het gebied rond Zundert (Noord-Brabant) met het numerical model GELGAM. Wageningen, ICW. Nota 1712.

Keesman, K.J., P.J.T. van Bakel, J. Kreling en B.M. Haayer, 1985. Berekening van langjarige aanvoereffekten en -efficiëncies ten behoeve van de bepaling van de landbouwkundige baten van wateraanvoer naar het 'tussen-10-plan'-gebied. Wageningen, ICW. Nota 1623.

Reinds, G.H., 1986. Beregenings- en bevoeiingsmogelijkheden in 1985. Wageningen, ICW. Nota 1727.

Silva, W., 1989a. Schematisering Limburgse en Brabantse kanalen t.b.v. PAWN (3e Nota) DBW/RIZA Werkdocument 89.017.

Silva, W., 1989b. Representativiteit rekenperiode 1971-1986 en keuze 10%-droog jaar in ICW-studie t.b.v. provinciaal Waterhuishoudingsplan in Noord-Brabant in droge jaren. DBW/RIZA Werkdocument 89.094.

Silva, W., 1989. De beschikbaarheid van Maaswater voor de landbouw in midden en oostelijk Noord-Brabant in droge jaren. DBW/RIZA Werkdocument 89.047.

Slothouwer, D., 1982. Economische aspecten van de waterbeheersingswerken in het studiegebied "De Monden". Wageningen, ICW. Nota 1384.

Slothouwer, D. De bepaling van de kosten en baten van wateraanvoer in midden en oostelijk Noord-Brabant. Wageningen, Staring Centrum. Interne Mededeling (in voorbereiding).

AANHANGSEL 1 Leden Werkgroep "Wateriaanvoer"

Naam	Werkadres
Ir. J.W.M.M. Ketelaars (voorzitter werkgroep)	VWM Afd. Waterhuishouding en Landinrichting Provincie Limburg Postbus 5700 6202 MA Maastricht
Ir. A. Paarlberg (secretaris werkgroep)	VWM Bureau Oppervlaktewater Provincie Limburg Postbus 5700 6202 MA Maastricht
Mw. ir. M.A. Korevaar	VWM Bureau Grondwater Provincie Limburg Postbus 5700 6202 MA Maastricht
Ing. J.R.H. Smeets	VWM Bureau Oppervlaktewater Provincie Limburg Postbus 5700 6202 MA Maastricht
Dr. J.J.H. Duijsings	ROV Bureau Landelijk Gebied Provincie Limburg Postbus 5700 6202 MA Maastricht
Dr.ir. H.H. Tolkamp	Waterschap Zuiveringschap Limburg Afd. Waterkwaliteitsbeheer Postbus 314 6040 AH Roermond
Ing. P. Verlaan	Waterschap Midden-Limburg Technische Dienst Postbus 3002 6093 ZG Heythuysen
Ing. W. Dielissen	Waterschap Noord-Limburg Technische Dienst Leunseweg 53 5802 CG Venray
Ing. J. Tobben	Gewestelijke Raad voor het Landbouwschap voor Limburg Steegstraat 1 6041 EA Roermond

Naam	Werkadres
Mw. ir. M. Juhász-Holterman	Waterleiding Maatschappij Limburg N.V. Prins Bisschopsingel 2 6211 JX Maastricht
Ir. D. Koeman	Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij Directeur Landbouw, Natuur en Openluchtrecreatie in de provincie Limburg Afd. Onderzoek Postbus 965 6040 AZ Roermond
Ir. G. Bleichrodt	Rijkswaterstaat Directie Limburg Postbus 25 6200 MA Maastricht

AANHANGSEL 2 De begrippen Gt, GHG en GLG

De Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand (GHG) en de Gemiddelde Laagste Grondwaterstand (GLG) worden als volgt berekend. Van een reeks grondwaterstanden, gemeten met een frequentie van tweemaal per maand (op of omstreeks de 14e en de 28e) wordt in het winterhalfjaar (oktober t/m maart) de HG3 berekend als het rekenkundig gemiddelde van de hoogste drie gemeten standen. In het zomerhalfjaar (april t/m september) wordt de LG3 berekend als rekenkundig gemiddelde van de drie laagst gemeten standen. De GHG (GLG) is nu gedefinieerd als de statistische verwachtingswaarde van de HG3's (LG3's) over een periode waarin het grondwaterregime niet door ingrepen is gewijzigd (STIBOKA, 1978).

Om het grondwaterstandsverloop op een kaart te kunnen weergeven, zijn de GHG's en GLG's tot klassen samengevoegd. De klassen, die begrensd worden door een GHG- en/of GLG-traject worden grondwatertrappen (Gt's) genoemd. Zie onderstaande tabel.

Grondwatertrappenindeling

Gt	GHG (cm-mv.)	GLG (cm-mv.)
I	-	< 50
II	< 25	50 - 80
II*	> 25	50 - 120
III	< 25	80 - 120
III*	25 - 40	80 - 120
IV	> 40	80 - 120
V	< 25	> 120
V*	25 - 40	> 120
VI	40 - 80	> 120
VII	> 80	> 120
VII*	> 140	> 140

Een * achter de Gt-code geeft bij de Gt's II, III, en V een droger deel van de Gt aan, d.w.z. een GHG dieper dan 25 cm - mv. Bij Gt VII geeft de * een zeer droog deel aan, d.w.z. een GHG dieper dan 140 cm-mv.

**AANHANGSEL 3 Tabel van drukhoogte en doorlatendheid voor onder
grondnummer 16 uit de bodemfysische reeks van
Brabant (BRABOG16.DAT)**

**Achtereenvolgens het minimum, maximum en verzadigd vochtgehalte
(in vol.proc.), en de verzadigde doorlatendheid (in cm per dag):**

0.01 0.44 0.44 122.77

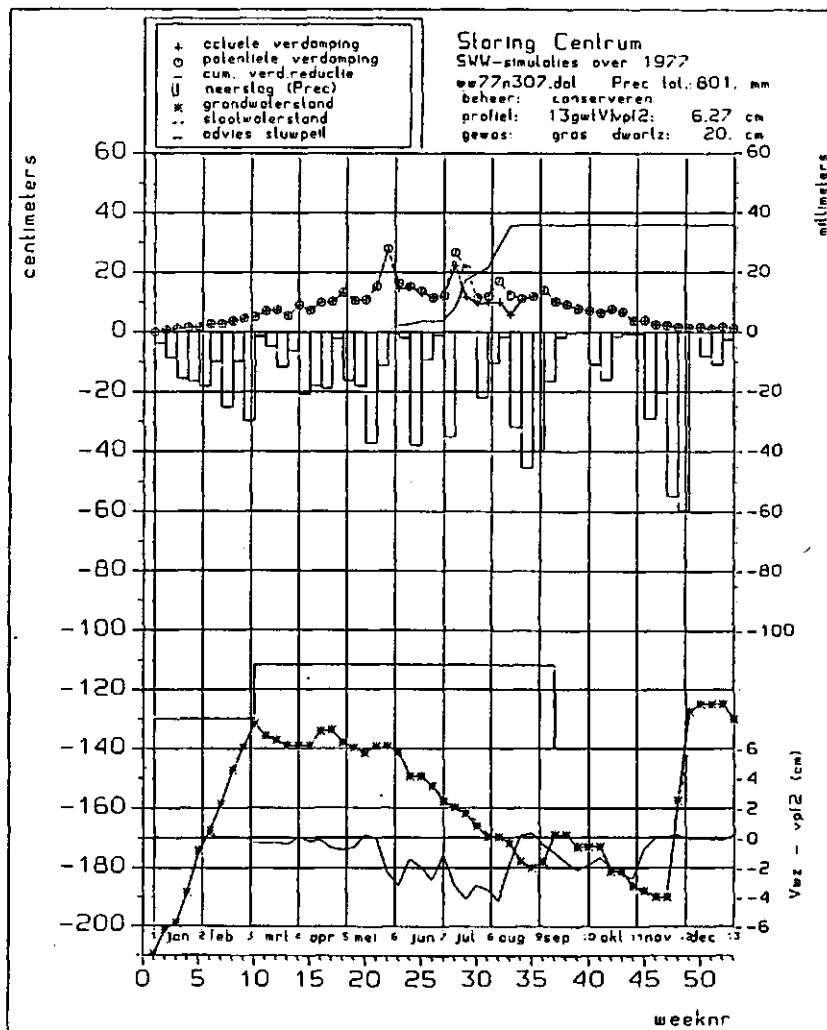
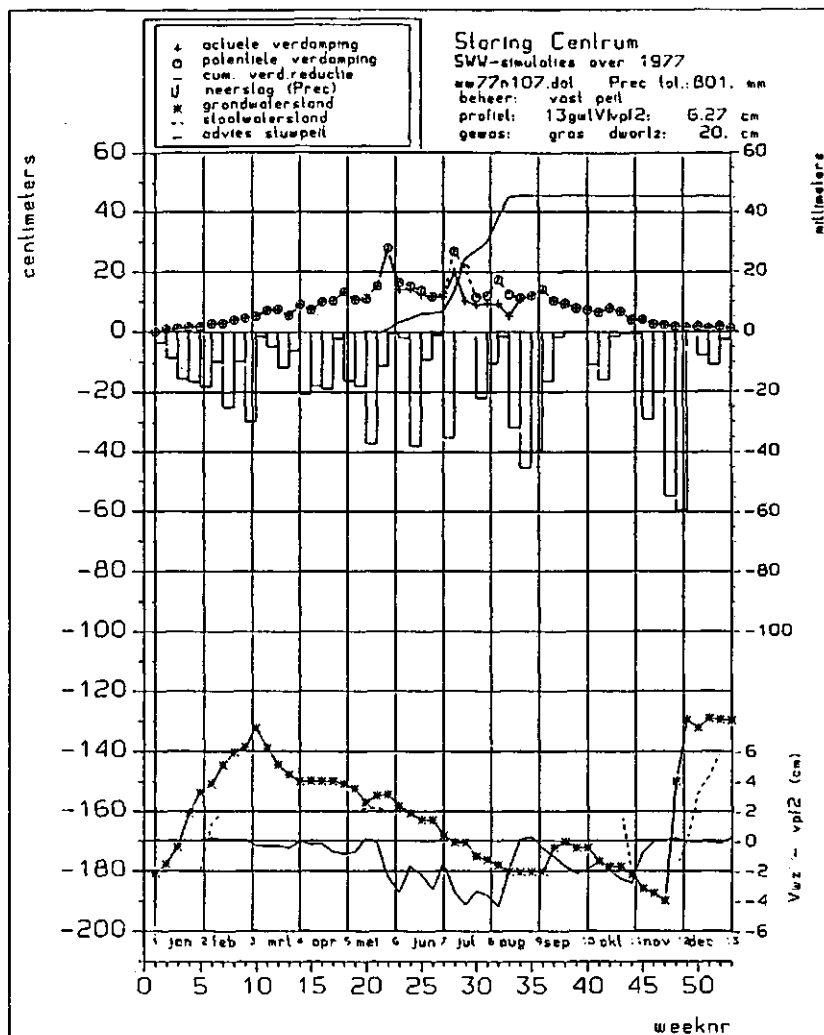
**De drukhoogte (in cm) bij de diverse vochtgehaltes, waarbij de
vochtgehaltes per procent oplopen (van 1 tot 44%):**

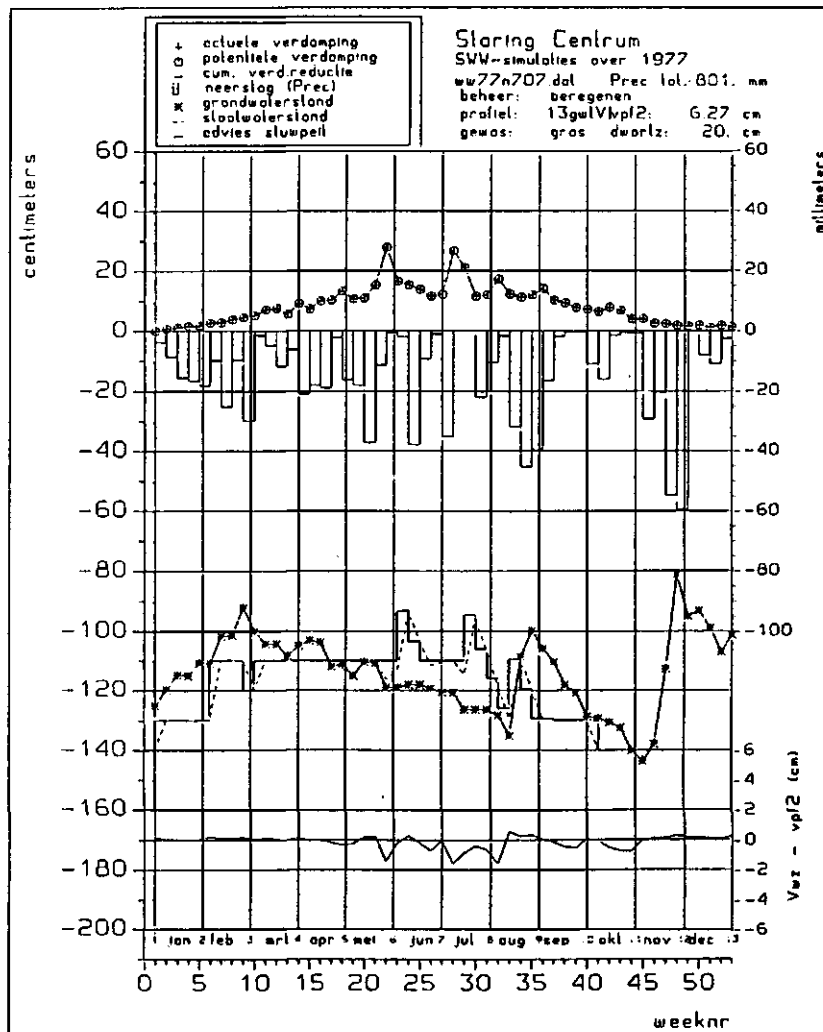
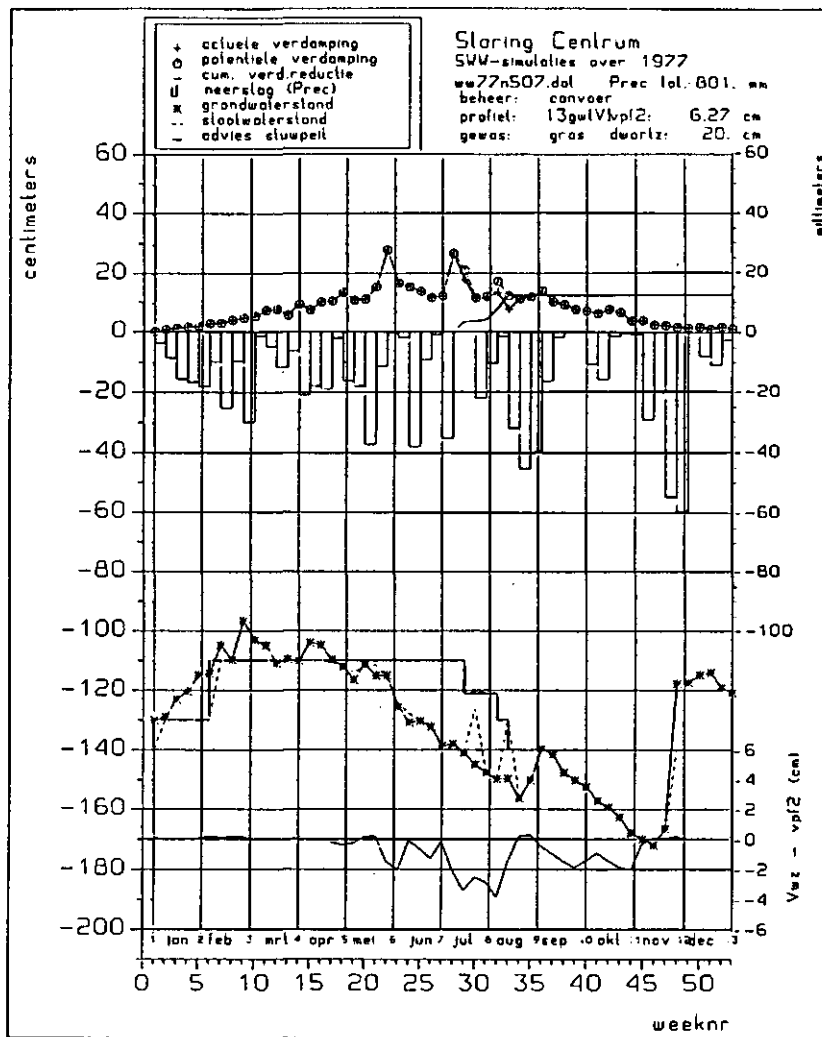
-0.100E+08	-0.284E+06	-0.353E+05	-0.100E+05	-0.500E+04	-0.250E+04	-0.167E+04
-0.117E+04	-0.902E+03	-0.747E+03	-0.629E+03	-0.538E+03	-0.473E+03	-0.427E+03
-0.387E+03	-0.354E+03	-0.325E+03	-0.300E+03	-0.278E+03	-0.259E+03	-0.236E+03
-0.211E+03	-0.190E+03	-0.171E+03	-0.155E+03	-0.141E+03	-0.129E+03	-0.118E+03
-0.109E+03	-0.100E+03	-0.883E+02	-0.782E+02	-0.696E+02	-0.621E+02	-0.557E+02
-0.500E+02	-0.411E+02	-0.340E+02	-0.267E+02	-0.200E+02	-0.136E+02	-0.839E+01
-0.353E+01	0.000E+00					

**De doorlatendheid bij de diverse vochtgehaltes, waarbij de
vochtgehaltes per procent oplopen (van 1 tot 44%):**

0.115E-07	0.164E-04	0.197E-04	0.300E-04	0.750E-04	0.200E-03	0.432E-03
0.682E-03	0.114E-02	0.202E-02	0.311E-02	0.435E-02	0.606E-02	0.846E-02
0.112E-01	0.143E-01	0.175E-01	0.210E-01	0.245E-01	0.282E-01	0.342E-01
0.430E-01	0.525E-01	0.622E-01	0.721E-01	0.821E-01	0.919E-01	0.102E+00
0.111E+00	0.120E+00	0.294E+00	0.634E+00	0.123E+01	0.217E+01	0.357E+01
0.550E+01	0.727E+01	0.909E+01	0.126E+02	0.180E+02	0.301E+02	0.495E+02
0.941E+02	0.123E+03					

AANHANGSEL 4 Voorbeeld van de berekende effecten van diverse beheertypen op de slootwaterstand, het vochtgehalte van de wortelzone, de grondwaterstand, de actuele gewasverdamping en de cumulatieve gewasverdampingsreductie bij grasland op bodemeenheid Hn21 in 1977





**AANHANGSEL 5 Gesimuleerde wateraanvoerbehoefte per deelgebied,
uitgesplitst naar grondgebruik in de maatgevende
week (nr. 34) in 1983 en 1976**

Tabel B5.1 Wateraanvoerbehoefte voor subinfiltratie in 1983.

Bestaande deelgebieden	Tot. opp. (ha)	Grasland		Maïs		Akkerbouw		Tot. aanv. (l/s)
		opp. (ha)	aanv. (l/s)	opp. (ha)	aanv. (l/s)	opp. (ha)	aanv. (l/s)	
Everlose Beek	4 846	1308	127	872	108	1260	156	391
Evertsoord	1 925	905	66	385	39	327	33	138
Helenaveen	432	177	17	121	14	73	9	40
Lollebeek	4 967	2036	143	944	90	944	90	323
Loobeek	994	467	47	189	19	199	20	86
Vredepeel	561	264	21	107	12	112	12	45
uitbreidingen								
Boddebroek	656	308	34	125	17	131	18	70
Heidse Peel	398	187	17	76	7	80	7	31
Spiesberg	428	176	17	120	15	73	9	41
Tasbeek	549	121	11	110	10	220	21	42
Zwart Water	80	37	4	15	2	16	2	8
	15 836							1215

Tabel B5.2 Wateraanvoerbehoefte voor subinfiltratie in 1976.

Bestaande deelgebieden	Tot. opp. (ha)	Grasland		Maïs		Akkerbouw		Tot. aanv. (l/s)
		opp. (ha)	aanv. (l/s)	opp. (ha)	aanv. (l/s)	opp. (ha)	aanv. (l/s)	
Everlose Beek	4 846	1308	178	872	121	1260	174	473
Evertsoord	1 925	905	108	385	48	327	41	197
Helenaveen	432	177	22	121	15	73	9	47
Lollebeek	4 967	2036	225	944	106	944	106	436
Loobeek	994	467	50	189	22	199	23	94
Vredepeel	561	264	30	107	12	112	13	55
uitbreidingen								
Boddebroek	656	308	44	125	18	131	19	82
Heidse Peel	398	187	18	76	8	80	8	34
Spiesberg	428	176	23	120	17	73	10	51
Tasbeek	549	121	16	110	17	220	34	67
Zwart Water	80	37	4	15	2	16	2	8
	15 836							1544

Tabel 85.3 Extra wateraanvoerbehoefte t.b.v. beregning t.o.v. subinfiltratie in 1983.

Bestaande deelgebieden	Tot. opp. (ha)	Grasland		Maïs		Akkerbouw		Tot. aanv. (l/s)
		opp. (ha)	aanv. (l/s)	opp. (ha)	aanv. (l/s)	opp. (ha)	aanv. (l/s)	
Everlose Beek	2 887	202	40	318	113	779	452	605
Evertsoord	1 311	223	57	79	27	197	114	198
Helenaveen	296	18	1	18	7	39	22	30
Lollebeek	4 079	816	217	612	209	816	473	899
Loobeek	623	149	29	112	51	81	47	126
Vredepeel	424	102	14	76	34	55	32	80
uitbreidingen								
Boddebroek	418	100	25	75	15	54	32	72
Heidse Peel	251	60	9	45	20	33	19	48
Spiesberg	325	19	4	19	5	42	25	34
Tasbeek	381	11	2	34	9	69	40	51
Zwart Water	74	18	6	13	6	10	6	18
	11 069							2161

Tabel 85.4 Extra wateraanvoerbehoefte t.b.v. beregning t.o.v. subinfiltratie in 1976.

Bestaande deelgebieden	Tot. opp. (ha)	Grasland		Maïs		Akkerbouw		Tot. aanv. (l/s)
		opp. (ha)	aanv. (l/s)	opp. (ha)	aanv. (l/s)	opp. (ha)	aanv. (l/s)	
Everlose Beek	2 887	202	85	318	138	779	452	675
Evertsoord	1 311	223	88	798	33	197	114	235
Helenaveen	296	18	8	18	6	39	22	36
Lollebeek	4 079	816	309	6012	245	816	473	1027
Loobeek	623	149	60	112	47	81	47	155
Vredepeel	424	102	47	76	33	55	32	112
uitbreidingen								
Boddebroek	418	100	38	75	35	54	32	105
Heidse Peel	251	60	27	45	19	33	19	65
Spiesberg	325	19	8	19	9	42	25	42
Tasbeek	381	11	4	34	10	69	40	54
Zwart Water	74	18	9	13	6	10	6	20
	11 069							2526

AANHANGSEL 6 Kosten en baten op deelgebiedsniveau bij diverse beheertypen, uitgesplitst naar grondgebruik

Toelichting bij de tabellen:

Het totaal aan cultuurgrond is gesteld op 90% van de landbouwgrond; de overige 10% bestaat uit sloten, kavelranden enz.

Alle bedragen zijn op jaarbasis berekend;

De baten zijn langjarig gemiddelde waarden;

Bruto baten¹ geeft de totale hydrologische baten bij het huidige prijsbeleid;

Bruto baten² geeft de totale hydrologische baten bij de prijs-quota-variant;

Interne baten² geeft de totale hydrologische baten bij de prijs-quota-variant minus de variabele en vaste kosten op deelgebiedsniveau.

De aangegeven oppervlakte cultuurgrond bij berekening is de oppervlakte cultuurgrond dat binnen de te beregenen zones ligt. De aangegeven oppervlakten bij berekening van grasland, akkerbouw, en vollegrondstuinbouw geven de oppervlakte cultuurgrond aan dat bestaat uit gras, akkerbouw, of vollegrondstuinbouw dat nu uit grondwater wordt beregend.

De zogenaamde substitutie-baten zijn gesteld op f 100,- per ha; Voor de bedrijfskosten is voor grasland en akkerbouw f 500,- per ha, en voor vollegrondstuinbouw f 1200,- per ha aangenomen.

Tabel B6.1 Kosten en baten van conservering ten opzichte van een situatie van vrije drainage voor gras, maïs, en akkerbouw.

Bestaande deelgebieden	Cultuurgrond				Bruto baten1 (f 1000)	Bruto baten2 (f 1000)	Variab. kosten (f 1000)	Vaste kosten (f 1000)	Interne baten2 (f 1000)		
	Tot. opp. (ha)	Grasland		Maïs						Akkerbouw	
		opp. baten (ha) (f 1000)	opp. baten (ha) (f 1000)	opp. baten (ha) (f 1000)							opp. baten (ha) (f 1000)
Everlose Beek	4 361	1177 23,1		785 9,2	1134 26,7	59,1	48,8	12,1	0,0	36,7	
Evertsoord	1 733	814 21,7		347 14,1	295 24,0	59,7	48,0	4,8	0,0	43,2	
Heleenaveen	388	159 2,4		109 0,7	66 0,8	3,9	3,0	1,1	0,0	1,9	
Lollebeek	4 470	1833 42,1		849 24,3	849 48,6	115,1	93,4	12,4	0,0	81,0	
Looibeek	895	421 20,1		170 17,6	179 37,1	74,9	61,9	2,5	0,0	59,4	
Vredepeel	505	237 8,8		96 5,4	101 11,4	25,6	20,9	1,4	0,0	19,5	
	12 352									241,7	
Uitbreidingen											
Boddebroek	591	278 6,3		112 2,6	118 5,4	14,3	11,5	0,8	4,9	5,9	
Heidse Peel	358	168 8,5		68 6,6	72 13,9	29,0	23,9	0,8	4,9	18,3	
Spiesberg	385	158 2,6		108 2,8	66 3,4	8,7	6,9	0,3	1,6	5,0	
Tasbeek	494	109 1,6		99 1,9	198 7,4	10,9	9,6	1,5	10,1	-2,0	
Zwart Water	72	34 1,3		14 1,0	14 2,0	4,4	3,6	0,2	0,0	3,4	
	1900									30,6	

Tabel B6.2 Kosten en baten van subinfiltratie t.o.v. conservering voor gras, maïs, en akkerbouw.

Bestaande deelgebieden	Cultuurgrond				Bruto		Variab. kosten (f 1000)	Vaste kosten (f 1000)	Interne baten2 (f 1000)
	Grasland		Maïs		baten1 (f 1000)	baten2 (f 1000)			
	Tot. opp. (ha)	opp. baten (ha) (f 1000)	opp. baten (ha) (f 1000)	Akkerbouw opp. baten (ha) (f 1000)					
Everlose Beek	4 361	1177 86,6	785 36,6	1134 105,7	228,8	189,5	13,3	0,0	176,3
Evertsoord	1 733	814 39,2	347 12,9	295 21,9	74,0	58,2	6,7	0,0	51,6
Helenaveen	388	159 8,0	109 4,5	66 5,5	18,0	14,0	1,2	0,0	12,8
Loillebeek	4 470	1833 107,2	849 28,9	849 57,7	193,7	153,2	21,8	0,0	131,3
Loobeek	895	421 28,3	170 12,9	179 27,2	68,4	55,3	2,9	0,0	52,4
Vredepeel	505	237 11,0	96 5,0	101 10,6	26,7	21,6	2,2	0,0	19,4
	12 352								443,8
Uitbreidingen									
Boddebroek	591	278 28,2	112 6,2	118 13,1	47,5	37,4	12,7	32,2	-7,5
Heidse Peel	358	168 9,5	68 4,1	72 8,6	22,2	17,9	11,4	30,5	-24,0
Spiesberg	385	158 8,7	108 5,8	66 7,1	21,7	16,9	5,7	15,7	-4,5
Tasbeek	494	109 8,5	99 4,5	198 17,9	30,8	26,5	7,5	21,3	-2,4
Zwart Water	72	34 2,2	14 1,3	14 2,8	6,4	5,2	0,5	2,0	2,7
	1900								-35,7

Tabel B6.4 Kosten en baten van beregning en subinfiltratie t.o.v. alleen subinfiltratie op grasland.

Bestaande deelgebieden	Grasland bruto			Var./vaste kosten (f 1000)	Interne baten2 (f 1000)	Subst. baten (f 1000)	Bedrijfs- kosten (f 1000)
	opp.	baten1	baten2				
	(ha)	(f 1000)	(f 1000)				
Everlose Beek	182	21,4	19,5	0,0	19,5	18,2	90,9
Evertsoord	201	39,9	36,3	0,0	36,3	20,1	100,3
Helenaveen	16	1,7	1,6	0,0	1,6	1,6	8,0
Lollebeek	734	122,7	111,7	0,0	111,7	73,4	367,1
Loobeek	135	37,0	33,7	0,0	33,7	13,5	67,3
Vredepeel	92	17,0	15,5	0,0	15,5	9,2	45,8
	<u>1360</u>				<u>218,3</u>	<u>136,0</u>	<u>679,4</u>
uitbreidingen							
Boddebroek	90	13,4	12,2	0,0	12,2	9,0	45,2
Heidse Peel	54	14,1	12,8	0,0	12,8	5,4	27,1
Spiesberg	18	2,2	2,0	2,1	-0,1	1,8	8,8
Tasbeek	10	1,2	1,0	4,8	-3,8	1,0	5,1
Zwart Water	16	4,6	4,2	0,0	4,2	1,6	8,0
	<u>188</u>				<u>25,3</u>	<u>18,8</u>	<u>94,2</u>

Tabel B6.5 Kosten en baten van beregning en subinfiltratie t.o.v. alleen subinfiltratie op akkerbouw.

Bestaande deelgebieden	Akkerbouw bruto			Var./vaste kosten (f 1000)	Interne baten2 (f 1000)	Subst. baten (f 1000)	Bedrijfs- kosten (f 1000)
	opp.	baten1	baten2				
	(ha)	(f 1000)	(f 1000)				
Everlose Beek	286	42,7	38,8	0,0	38,8	28,6	343,0
Evertsoord	71	16,9	15,4	0,0	15,4	7,1	84,9
Helenaveen	16	2,1	1,9	0,0	1,9	1,6	19,2
Lollebeek	551	122,2	111,2	0,0	111,2	55,1	660,8
Loobeek	101	37,2	33,9	0,0	33,9	10,1	121,1
Vredepeel	69	15,3	13,9	0,0	13,9	6,9	82,4
	<u>1094</u>				<u>215,1</u>	<u>109,4</u>	<u>1311,4</u>
uitbreidingen							
Boddebroek	68	13,9	12,6	0,0	12,6	6,8	81,3
Heidse Peel	41	13,2	12,0	0,0	12,0	4,1	48,8
Spiesberg	18	3,0	2,7	2,1	0,6	1,8	21,1
Tasbeek	31	2,8	2,5	4,8	-2,3	3,1	37,0
Zwart Water	12	4,6	4,2	0,0	4,2	1,2	14,5
	<u>170</u>				<u>27,1</u>	<u>17,0</u>	<u>202,7</u>

Tabel B6.6 Kosten en baten van beregning en subinfiltratie t.o.v. alleen subinfiltratie van vollegrondstuinbouw.

Bestaande deelgebieden	Vollegrondstuinbouw			Var./vaste kosten (f 1000)	Interne baten2 (f 1000)	Subst. baten (f 1000)	Bedrijfs- kosten (f 1000)
	opp. (ha)	baten1 (f 1000)	baten2 (f 1000)				
Everlose Beek	702	983,2	894,7	0,0	894,7	70,2	841,8
Evertsoord	177	327,8	298,3	0,0	298,3	17,7	212,3
Helenaveen	35	49,3	44,9	0,0	44,9	3,5	41,6
Loliebeek	734	1192,4	1085,1	0,0	1085,1	73,4	881,1
Loobeek	73	160,4	146,0	0,0	146,0	7,3	87,4
Vredepeel	50	90,8	82,6	0,0	82,6	5,0	59,5
	<u>1771</u>				<u>2551,6</u>	<u>177,1</u>	<u>2123,7</u>
uitbreidingen							
Boddebroek	49	64,0	58,2	0,0	58,2	4,9	58,7
Heidse Peel	29	64,1	58,3	0,0	58,3	2,9	35,2
Spiesberg	38	51,6	47,0	2,1	44,9	3,8	45,6
Tasbeek	62	82,8	75,4	4,8	70,2	6,2	74,1
Zwart Water	9	19,6	17,8	0,0	17,8	0,9	10,4
	<u>187</u>				<u>249,4</u>	<u>18,7</u>	<u>224,0</u>

AANHANGSEL 7 Waterbehoefte (in l.s⁻¹) en interne baten ($f \cdot 1000$) van wateraanvoer voor subinfiltratie en/of berekening per deelgebied in Noord-Limburg en midden en oostelijk Noord-Brabant. Tevens is aangegeven via welke hoofdinlaat het deelgebied wordt voorzien (zie toelichting). Voor de ligging van de deelgebieden zie kaart 8.

Deel- gebied	Inlaat	Subinfiltratie		Berekening		Subinfiltratie plus berekening	
		Water- behoefte	Baten	Water- behoefte	Baten	Water- behoefte	Baten
LB1	2					141,0	13,0
LB2	2	391,0	176,0	604,0	117,0		
LB3	2	138,0	52,0	198,0	45,0		
LB4	2					79,0	-12,0
LB5	2	40,0	13,0	30,0	7,0		
LB6	2	323,0	131,0	898,0	202,0		
LB7	2	86,0	42,0	126,0	31,0		
LB8	2					75,0	1,0
LB9	2					93,0	3,0
LB10	2	45,0	19,0	80,0	21,0		
LB11	2	8,0	3,0	18,0	4,0		
AA1	1	118,0	19,0	142,0	16,0		
AA2	2	455,0	67,0	675,0	132,0		
AA3	2	107,0	15,0	265,0	47,0		
AA4	1	312,0	80,0	309,0	154,0		
AA5	1	0,0	0,0	104,0	22,0		
AA6	2	166,0	20,0	224,0	38,0		
AA7	2	177,0	28,0	220,0	44,0		
AA8	1	103,0	32,0	283,0	53,0		
AA9	1	201,0	48,0	285,0	61,0		
AA10	2					372,0	24,0
AA11	2					519,0	30,0
AA12	2					71,0	1,0
AA13	2					60,0	-4,0
AA14	1					112,0	17,0
AA15	1					117,0	1,0
AA16	1	3,0	-28,0	62,0	9,0		
AA17	-	0,0	0,0	0,0	0,0		
AA18	1					184,0	-1,0
AA19	1					30,0	-2,0
AA20	1					86,0	6,0

Deel- gebied	Inlaat	Subinfiltratie		Berekening		Subinfiltratie plus berekening	
		Water- behoefte	Baten	Water- behoefte	Baten	Water- behoefte	Baten
MK1	2	5,0	2,0	19,0	5,0		
MK2	2	29,0	4,0	82,0	18,0		
MK3	2	70,0	25,0	196,0	46,0		
MK4	2	75,0	34,0	230,0	50,0		
MK5	2	12,0	6,0	117,0	27,0		
MK7	2	33,0	9,0	316,0	73,0		
MK11	2	7,0	2,0	18,0	4,0		
MK12	2					132,0	-37,0
MK13	2					74,0	- 6,0
MK14	2					132,0	14,0
MK15	2					40,0	2,0
MK16	2					160,0	- 9,0
MK17	2					142,0	14,0
DM1	1*)					362,0	15,0
DM2	1	105,0	8,0	150,0	31,0		
DM3	1					124,0	19,0
DM4	1	77,0	25,0	130,0	28,0		
DM5	1	251,0	62,0	443,0	94,0		
MD	-	177,0	37,0	714,0	158,0		
D01	1,3					302,0	46,0
D02	1,3					246,0	-11,0
D03	1,3					70,0	-25,0
D04	1,3					192,0	- 7,0
ZL1	1					190,0	21,0
ZL2	-						
ZL3	-	19,0	1,0	38,0	7,0		

*) inlaat op tak Lozen-Nederweert

Toelichting bij de tabel

De behoefte aan aanvoer van Maaswater ($l.s^{-1}$) voor subinfiltratie en beregening en de verwachte interne baten ($f \cdot 1000$) van deze aanvoer voor de onderscheiden deelgebieden. De aanvoerbehoefte betreft de behoefte in het jaar 1983, de verwachte baten betreffen het langjarig gemiddelde. Bij de bepaling van de interne baten is rekening gehouden met vaste en variabele kosten. Voor die deelgebieden waarvoor de baten van subinfiltratie positief zijn, zijn subinfiltratie en beregening afzonderlijk weergegeven. Eventuele interne leveringen zijn verrekend.

AA - waterschap de AA
 MK - waterschap de Maaskant
 DM - waterschap de Dommel
 MD - waterschap Maas en Diezepolders
 DO - waterschap de Dongestroom
 ZL - waterschap de Zandley
 LB - waterschap Noord-Limburg

inlaat 1 betreft aanvoer via de Zuid-Willemsvaart
 inlaat 2 betreft aanvoer via de Noordervaart
 inlaat 3 betreft aanvoer via oppompen bij Oosterhout
 inlaat - betreft geen levering van Maaswater

interne leveringen:

Deelgebied AA132 $l.s^{-1}$

AA4 312 $l.s^{-1}$ (*)
 AA5 466 $l.s^{-1}$ (via deelgebied AA17)
 AA8 6 $l.s^{-1}$
 AA1B $l.s^{-1}$
 AA17 173 $l.s^{-1}$
 DM312 $l.s^{-1}$
 DO110 $l.s^{-1}$

(*) Voor deelgebied AA4 geldt dat het Noordelijk deel buiten beschouwing wordt gelaten. Voor het resterend deel geldt dat de behoefte aan wateraanvoer voor subinfiltratie en beregening gelijk is aan $237 l.s^{-1}$ en $696 l.s^{-1}$. De corresponderende zijn, na aftrek van de vaste kosten, 80 en 154 ($f \cdot 1000$). De interne levering via de Rioolwaterzuiveringsinstallatie Uden ($312 l.s^{-1}$) heeft als voorwaarde dat deze moet worden vermengd met een gelijke hoeveelheid Maaswater. Dit houdt in dat er bij alleen subinfiltratie $312 l.s^{-1}$ Maaswater wordt aangevoerd, terwijl de vraag $237 l.s^{-1}$ bedraagt. De hoeveelheid water die overblijft, wordt geloosd op de Aa. Als er beregend wordt dan kan dit water ook worden gebruikt. De resterende vraag naar Maaswater, $309 l.s^{-1}$, is dan ook veel kleiner dan het gebruik voor beregening, $696 l.s^{-1}$.

AANHANGSEL 8 Berekende interne drainage/subinfiltratie en externe
aanvoer per simulatie-eenheid per week voor de deel-
gebieden Everlose Beek en Lollebeek in 1976

Toelichting bij de tabellen:

simnr: nummer van de simulatie-eenheid

intrn: interne drainage(-)/subinfiltratie(+)

drain: interne drainage(-)

aanv: externe aanvoer

tot: totaal

Tabel B8.1 Interne drainage/subinfiltratie en externe aanvoer (l.s-1) in deelgebied Everlose Beek van week 13 t/m 20.

Simnr.	Opp. (ha)	Week 13		Week 14		Week 15		Week 16		Week 17		Week 18		Week 19		Week 20	
		intrn	aanv	intrn	aanv	intrn	aanv	intrn	aanv	intrn	aanv	intrn	aanv	intrn	aanv	intrn	aanv
107	100,	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6	6,7	6,6	6,7
703	91,	-3,8	0,0	-4,3	0,0	-3,8	0,0	-2,3	0,0	-1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
705	140,	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
1203	7,	-0,2	0,0	-0,3	0,0	-0,2	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1205	55,	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1306	212,	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	9,8	11,5
1307	10,	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,7	0,7	0,7
1505	42,	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1506	80,	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1507	16,	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	2,8	3,2	6,3	7,4
1606	3,	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	0,3	0,6
1607	38,	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	1,2	2,6	2,8
2203	59,	-2,2	0,0	-2,8	0,0	-2,3	0,0	-0,9	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2305	1258,	0,8	0,0	0,6	0,0	0,6	0,0	0,6	0,0	0,4	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	28,2	32,8
2506	12,	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,6	0,6	0,6
2907	54,	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3107	19,	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,8	1,8	1,9
3202	58,	-0,2	0,0	-1,6	0,0	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3203	44,	-2,2	0,0	-2,3	0,0	-2,1	0,0	-1,8	0,0	-1,3	0,0	-1,1	0,0	-1,0	0,0	-0,9	0,0
3403	18,	0,1	0,0	-0,9	0,0	-0,9	0,0	-0,8	0,0	-0,7	0,0	-0,6	0,0	-0,6	0,0	-0,5	0,0
3505	54,	0,1	0,0	-0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3506	36,	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	2,0
3703	138,	-5,1	0,0	-6,4	0,0	-5,3	0,0	-1,9	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
3705	404,	0,2	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
3706	851,	1,3	0,0	-1,0	0,0	1,5	0,0	0,8	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	-0,3	0,0
3707	89,	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	2,1	7,7	8,2
3803	114,	-3,0	0,0	-3,2	0,0	-3,3	0,0	-1,5	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
4306	3,	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,3
4805	2,	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5407	14,	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	1,5	1,6
3303	88,	-1,9	0,0	-3,3	0,0	-2,3	0,0	-0,7	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4705	68,	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4706	299,	0,1	0,0	-0,1	0,0	0,2	0,0	0,3	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
4707	368,	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,5	9,6
TOTAAL	Opp. 4844,	Drain -19,7	Aanv 0,0	Drain -26,3	Aanv 0,0	Drain -20,5	Aanv 0,0	Drain -10,1	Aanv 0,0	Drain -3,2	Aanv 0,0	Drain -1,8	Aanv 0,0	Drain -1,6	Aanv 15,9	Drain -1,7	Aanv 86,7

Tabel B8.3 Interne drainage/subinfiltratie en externe aanvoer (l.s-1) in deelgebied Lollebeek van week 21 t/m 28.

Simnr.	Opp. (ha)	Week 21		Week 22		Week 23		Week 24		Week 25		Week 26		Week 27		Week 28	
		intrn	aanv	intrn	aanv	intrn	aanv	intrn	aanv	intrn	aanv	intrn	aanv	intrn	aanv	intrn	aanv
107	117	7,8	7,9	7,7	7,9	9,3	9,7	9,6	9,7	9,3	9,7	8,7	8,7	8,5	8,7	8,5	8,7
1205	43	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	1,0	2,3	2,6	3,6	4,0	5,0	5,4	5,3	5,4	4,9	4,9
1306	351	35,6	39,9	36,4	35,9	42,0	44,3	43,6	44,3	40,3	39,9	39,7	39,9	39,3	39,9	39,3	39,9
1307	5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
1503	79	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	1,5	7,5	9,0	8,2	9,0	8,7	9,0
1607	246	23,7	25,2	23,0	22,6	27,0	28,0	27,7	28,0	27,7	28,0	27,8	28,0	27,7	28,0	27,7	28,0
1903	193	-7,7	0,0	-7,7	0,0	-6,2	0,0	-5,7	0,0	-5,7	0,0	-5,7	0,0	-5,1	0,0	-5,1	0,0
2105	67	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	3,0	0,6	0,0	3,7	3,0
2203	346	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	6,6	27,4	28,7	38,6	43,7	45,9	48,5
2305	10	0,7	0,7	1,0	1,1	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,3	1,2	1,3
2506	576	27,9	28,2	27,9	28,2	39,9	43,0	42,1	43,0	42,3	43,0	42,7	43,0	41,7	43,0	41,9	43,0
2903	22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3203	65	-0,9	0,0	0,4	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7	0,9
3403	138	-3,9	0,0	-3,6	0,0	-3,6	0,0	-3,1	0,0	-3,0	0,0	-2,4	0,0	-2,4	0,0	-2,4	0,0
3505	421	14,2	13,5	40,0	43,1	58,3	65,6	60,2	59,0	58,0	59,0	58,6	59,0	58,1	59,0	58,3	59,1
3506	321	30,5	32,8	46,0	50,1	53,1	55,6	50,6	50,1	49,6	50,1	49,4	50,1	45,5	45,1	44,5	45,1
3705	67	0,0	0,0	2,3	2,2	6,4	6,9	9,9	11,6	10,4	10,4	10,3	10,4	9,6	9,4	10,0	10,4
3706	287	13,8	15,6	27,6	29,4	45,7	49,7	48,8	49,7	49,2	49,7	49,5	49,7	49,1	49,7	49,0	49,7
3803	12	0,2	0,2	1,0	1,2	1,4	1,5	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4	1,4	1,3	1,4	1,3	1,4
3805	62	6,8	7,8	7,0	7,0	7,4	7,8	7,1	7,0	6,9	7,0	7,0	7,0	6,9	7,0	6,9	7,0
6403	51	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,2	3,3	4,7	6,7	7,2	8,2	8,8
6503	43	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,6	3,1	3,2	4,3	4,9	5,4	6,0
3305	36	3,4	3,7	3,9	4,1	4,4	4,5	4,3	4,5	4,1	4,1	4,1	4,1	4,0	4,1	4,0	4,1
3405	594	31,8	32,3	27,4	29,1	32,4	35,9	34,2	35,9	21,5	21,2	10,7	10,1	18,6	23,5	22,3	23,5
4705	101	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4	4,4	5,0	5,5	4,1	6,1	14,9	15,7
4706	142	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	7,7	14,1	14,5	20,8	22,1	23,9	24,6
4707	570	54,4	58,3	76,1	80,0	95,3	98,8	98,1	98,8	98,2	98,8	98,5	98,8	98,1	98,8	97,7	98,8
TOTAAL	Opp	Drain	Aanv	Drain	Aanv	Drain	Aanv	Drain	Aanv	Drain	Aanv	Drain	Aanv	Drain	Aanv	Drain	Aanv
	4965	-12,5	266,9	-11,3	343,3	-9,8	455,1	-8,7	448,2	-8,7	451,0	-8,1	486,8	-7,5	518,6	-7,5	542,0

Tabel B8.4 Interne drainage/subinfiltratie en externe aanvoer (l.s-1) in deelgebied Lollebeek van week 29 t/m 36.

Simmr.	Opp. (ha)	Week 29		Week 30		Week 31		Week 32		Week 33		Week 34		Week 35		Week 36	
		intrn	aanv	intrn	aanv	intrn	aanv	intrn	aanv	intrn	aanv	intrn	aanv	intrn	aanv	intrn	aanv
107	117	8,6	8,7	8,0	7,9	7,8	7,9	7,8	7,9	7,7	7,9	7,7	7,9	7,7	7,9	7,9	7,9
1205	43	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,8	4,9	4,8	4,9	4,8	4,9	4,9	4,9
1306	351	39,7	39,9	40,0	39,9	39,8	39,9	39,9	39,9	39,5	39,9	39,5	39,9	39,6	39,9	40,1	39,9
1307	5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6
1503	79	8,8	9,0	8,8	9,0	8,3	8,1	8,1	8,1	8,0	8,1	8,0	8,1	8,0	8,1	8,7	9,0
1607	246	30,4	31,1	29,8	31,1	27,9	28,0	28,0	28,0	27,7	28,0	27,9	28,0	25,7	25,2	27,5	28,0
1903	193	-4,9	0,0	-4,2	0,0	-4,2	0,0	-4,2	0,0	-3,0	0,0	-2,9	0,0	-2,9	0,0	-2,6	0,0
2105	67	8,1	8,5	10,0	10,4	11,2	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,5	11,6	11,6	11,6	11,7	11,6
2203	346	48,1	48,6	48,7	48,6	48,5	48,6	48,6	48,6	48,1	48,6	48,1	48,6	48,1	48,5	48,8	48,6
2305	10	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
2506	576	42,6	43,0	41,2	43,0	38,7	38,7	38,6	38,7	37,9	38,7	37,9	38,7	38,5	38,7	39,5	38,7
2903	22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3203	65	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,1	1,2	1,4	1,3	1,4
3403	138	-2,4	0,0	-2,4	0,0	-2,1	0,0	-0,9	0,0	1,2	2,1	1,9	2,3	1,2	2,3	-1,8	0,0
3505	421	58,1	59,1	54,9	53,1	53,1	53,1	53,2	53,1	53,6	53,1	56,8	59,1	58,6	59,0	59,6	59,0
3506	321	44,9	45,1	45,1	45,0	45,0	45,1	45,1	45,1	44,7	45,1	44,7	45,1	44,8	45,0	45,8	45,1
3705	67	10,2	10,4	9,7	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,3	9,4	9,3	9,4	10,0	10,4	10,3	10,4
3706	287	45,8	44,8	48,4	49,7	45,6	44,8	44,8	44,8	44,5	44,8	44,5	44,8	44,5	44,8	44,9	44,8
3803	12	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5
3805	62	7,0	7,0	7,1	7,0	7,0	7,0	7,1	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,2	7,0
6403	51	8,8	8,8	8,9	8,8	8,9	8,8	8,9	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	9,0	8,8
6503	43	5,3	5,4	5,0	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,8	4,9	4,8	4,9	5,0	4,9	5,3	5,4
3305	36	4,0	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,0	4,1	4,1	4,1	4,4	4,5
3405	594	22,5	23,5	11,1	10,1	19,6	23,5	23,3	23,5	23,0	23,5	23,7	23,5	34,5	39,9	39,8	39,9
4705	101	17,0	17,5	17,4	17,5	17,4	17,5	17,5	17,5	17,4	17,5	17,4	17,5	17,4	17,5	17,6	17,5
4706	142	24,5	24,6	24,6	24,6	24,8	24,6	24,6	24,6	24,4	24,6	24,4	24,6	24,5	24,6	24,7	24,6
4707	570	98,4	98,8	99,5	98,8	98,7	98,8	98,8	98,8	98,4	98,8	98,4	98,8	98,4	98,8	99,0	98,8
TOTAAL	Opp 4965	Drain -7,3	Aanv 546,8	Drain -6,6	Aanv 531,9	Drain -6,3	Aanv 533,2	Drain -5,1	Aanv 533,5	Drain -3,0	Aanv 535,5	Drain -2,9	Aanv 541,8	Drain -2,9	Aanv 556,4	Drain -4,4	Aanv 559,1

Tabel B8.5 Interne drainage/subinfiltratie en externe aanvoer (l.s⁻¹) in deelgebied Lollebeek van week 37 t/m 44.

Simnr.	Opp. (ha)	Week 37	Week 38	Week 39	Week 40	Week 41	Week 42	Week 43	Week 44
		intrn aanv	intrn aanv	intrn aanv	intrn aanv	intrn aanv	intrn aanv	intrn aanv	intrn aanv
107	117	7,9	7,9	6,1	5,7	1,0	0,0	0,1	0,0
1205	43	4,9	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1306	351	40,1	39,9	0,0	0,0	0,3	0,0	0,2	0,0
1307	5	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1503	79	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1607	246	27,8	28,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1903	193	-0,6	0,0	2,2	3,7	-0,2	0,0	-2,5	0,0
2105	67	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2203	346	48,9	48,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2305	10	1,3	1,3	1,2	1,1	0,2	0,0	0,0	0,0
2506	576	42,4	43,1	33,7	31,4	6,2	0,0	-1,6	0,0
2903	22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3203	65	1,3	1,2	2,5	3,2	0,9	0,0	0,0	0,0
3403	138	-1,0	0,0	2,3	2,6	0,8	0,0	0,1	0,0
3505	421	58,7	59,3	55,0	53,1	10,6	0,0	0,0	0,0
3506	321	48,6	49,1	42,6	40,5	7,3	0,0	0,1	0,0
3705	67	9,7	9,5	8,8	8,5	1,4	0,0	0,0	0,0
3706	287	44,9	48,8	42,2	40,3	6,8	0,0	0,1	0,0
3803	12	1,4	1,4	1,4	1,4	0,3	0,0	0,0	0,0
3805	62	7,6	7,3	7,1	7,0	1,5	0,0	0,0	0,0
6403	51	8,9	8,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6503	43	5,5	5,5	5,4	5,4	1,1	0,0	0,0	0,0
3305	36	4,6	4,5	4,1	3,7	0,7	0,0	0,0	0,0
3405	594	38,2	39,9	26,7	26,2	7,6	0,0	0,2	0,0
4705	101	17,6	17,5	5,3	4,9	0,3	0,0	0,0	0,0
4706	142	24,7	24,7	24,6	24,6	3,3	0,0	0,0	0,0
4707	570	99,0	99,0	90,9	88,9	10,5	0,0	0,0	0,0
TOTAAL	Opp	Drain	Drain	Drain	Aanv	Drain	Aanv	Drain	Aanv
	4965	-1,6	547,1	0,0	392,3	-0,3	0,0	-4,2	0,0
					352,2	-11,1	0,0	-20,6	0,0